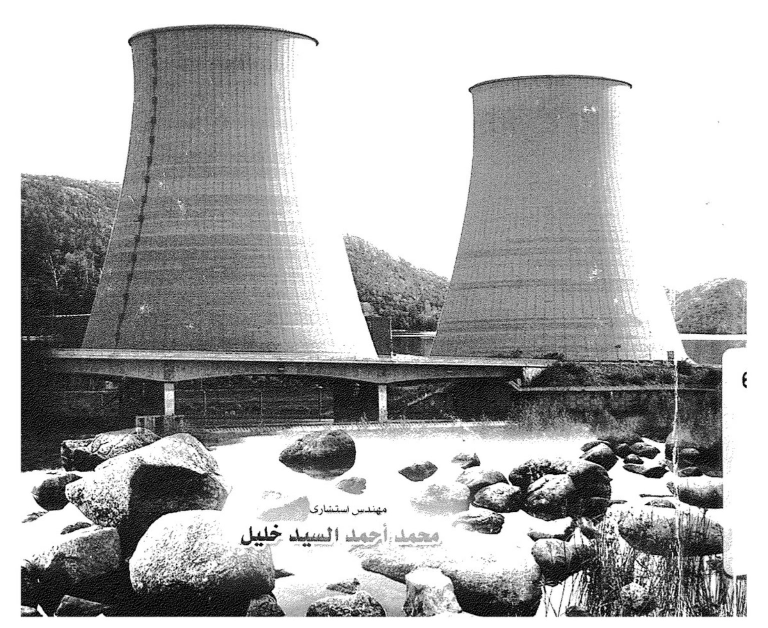
الماء فى الصناعة

المعالجات لتنقية المياه للاستخدامات الصناعيــة وتغـذيــة الغلايــات



مهندس استشارى

محمد أحمد السيد خليل

الماء في الصناعة

المعالجات لتنقية المياه للاستخدامات الصناعية وتغذية الغلايات

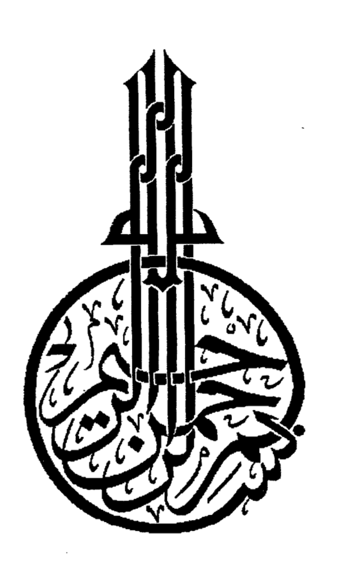
مهندس لستشاري

محمد أحمد السيد خليل

رقـــم الإيـــداع بـــدار الكـــتب : ٢٠٠٣/١٥٤٣٧
الترقيـــــم الدولـــــــــــي : ٤ ٩٧٧-٢٨٧-٣٣٥

دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع
٥٠ شارع الشيخ ريحان - عابدين — القاهرة
☎ ٧٩٥٤٢٢٩

لمزيد من المعلومات يرجى زيارة موقعنا على الأنترنت
www.sbheg.com
e-mail: sbh@link.net





المقدمة :

تنقية المياه للاستخدامات الصناعية

تقوم المياه بخدمة مختلف الصناعات بطرق متعددة (١) حيث تستخدم المياه كمواد خام تدخل في تصنيع المنتج النهائي بدون أي تغيرات كيماوية (٢) كمادة خام لإحداث تغيرات كيماوية (٣) كمجال للنقل حيث تعمل المياه كمذيب او كحامل للمحاليل أو المواد العالقة داخل وخارج التفاعلات وعمليات التغير الطبيعي (٤) كمجال للتسخين والتبريد خلال مجال كبير لدرجات الحرارة ما بين اقل من درجة حرارة التجمد العادية (المحاليل الملحية) إلى درجة حرارة البخار المحمص (Superheated Steam) (٥) كمجال لحفظ الطاقة (٦) كمجال لتجميع المخلفات (٧) كمجال للنظافة (٨) حاجز حراري ضد الإشعاعات والانبعاثات الحرارية (٩) معيار مناسب بالنسبة لدرجة الحرارة والكثافة واللزوجة والوحدات الأخرى الهامة بالنسبة للمعايرة والقياس لأجهزة التحكم (١٠) كمجال لمقاومة الحريق .

في هذا المرجع تم تناول تقنيات معالجة وتنقيه المياه للاستخدامات الصناعية في التمهيد وستة فصول .

ففي التمهيد تم استعراض أنواع المياه من المصادر المختلفة ومصادر التلوث للمياه ومعايير النقاء والاستخدام للمياه في الصناعة .

وفي الفصل الأول : تم تناول خطوات المعالجة الأساسية للمياه من المصادر العزبة لاستخدامها في الصناعة .

أما الفصل الثاني فقد تم تخصيصه لدراسة عمليات إزالة العسر بالتبادل الأيوني .

أهمية إعادة المياه المكثفة ومعالجتها لتغذية الغلايات فتم تناول هذا الموضوع في الفصل الثالث .

وفي الفصل الرابع تناول هذا المرجع تقطير المياه العزبة للاستخدامات الدوائية والمعملية والصناعية .

ونظرا لأن اعزاب المياه أو ما يسمى أحيانا تحلية المياه المالحة كمصدر هام لزيادة الموارد المائية للشرب والري فتم تناوله في الفصل الخامس والفصل السادس خصص لمعالجة مياه حمامات السباحة وتم إلقاء الضوء على التحاليل الكيميائية للمياه المستخدمة في الصناعة في الفصل السابع .

وبهذا يكون قد تم تناول جميع تقنيات تنقيه المياه العزبة والمالحة للاستخدامات الصناعية والدوائية والمعملية وتغذية الغلايات لانتاج بخار الماء اللازم لانتاج الطاقة الكهربية والكثير من الصناعات .

والله الموفق

مهندس استشاري / محمد أحمد السيد خليل

الفصل التمهيدى

الفصل التمهيدي

١ - خواص أنواع المياه :

تعتبر المياه مادة غير عادية ، حيث لها كثير من الصفات التي تختلف عن كثير من المواد الكيميائية . فعند معالجة أو تنقية المياه ، فان ذلك يتعلق بإزالة الملوثات من الماء وليس له علاقة بالماء نفسه . بينما تكون خواص المياه هي الأساس في عملية المعالجة ، إلا أن طبيعة الملوثات هي التي يتم التركيز عليها . تشكل الملوثات في الماء أنواع كثيرة من المواد ، إلا إن كل هذه المواد لها عامل واحد غير عادي والذي يختلف عن أي صفة من صفات الماء وهذا هو الذي يجعل لتنقية المياه الطبيعة الخاصة . الملوثات في معظم مصادر المياه بعد إذابة المواد الغير مذابة تكون في تركيزات منخفضة لدرجة أن وجودها يمكن التجاوز عنه في بعض استعمالات المياه . بمعنى أن المياه الخام قبل المعالجة تكون اكثر نقاءا من كثير من الكيماويات التجارية ، والاستثناء الوحيد في ذلك هو مياه البحر حيث مستوى التلوث يكون مرتفعا.

يمكن توضيح ذلك ، حيث الأملاح المذابة في مياه المجاري السطحية العزبة مثل الأنهار يكون حوالي ٥٠٠ جزء في المليون والذي يعادل ٠,٠٥% . ومقارنة ذلك بمادة الصودا الكاوية المستخدمة في الأغراض البحثية فإنها تحتوى على ١% كلوريد صوديوم أي ما يعادل ٠,٠٧% ملوثات .

٢ - تصنيف الملوثات : (Classification Of Impurities)

البيانات التالية هو محاولة لتصنيف الملوثات التي قد تكون موجودة في مختلف مصادر المياه الخام . في الحقيقة فان أي نوع من المادة قد يكون موجودا في بعض المياه في مكان ما . في هذه البيانات تم تناول جميع أنواع الملوثات ولكن ليس بالتفصيل .كما أن هذا التصنيف للملوثات في شكل مجموعات حيث يمكن إزالتها بنفس نوع عملية المعالجة .

عند التعامل مع أي مشكلة معينة يجب مراعاة الاعتبارات الآتية :

أ - يتم تحديد حالة (درجة) التصنيف للملوثات .

ب - يتم تعيين إجمالي الأملاح الصلبة المذابة في المياه الخام .

جـ - يتم تحديد درجة النقاء للمياه بعد المعالجة .

من هذه البيانات يمكن تعيين عملية أو عمليات المعالجة ، حيث نادرا ما يتطلب الأمر عملية واحدة لذلك فان معظم محطات المعالجة للمياه تتكون من عدة عمليات متتالية لتنقية المياه .

٣ - الملوثات الموجودة في مصادر المياه الخام وأثرها على مختلف الاستخدامات

أثر الملوثات على مختلف الاستخدامات للمياه :

أ - لأغراض الشرب :

الأثر الصحي ، المذاق ، الرائحة ، اللون ، العسر ، العدوانية بالنسبة للتآكل تتوقف على العادات المحلية .

ب - للاستخدامات الأخرى خلاف مياه الشرب :

المذاق ، الرائحة ، اللون والعسر لهم أهمية أقل عن المياه المستخدمة لأغراض الشرب.

جـ - مياه التبريد والعمليات الصناعية :

تختلف المتطلبات كثيرا طبقا للتكلفة الاقتصادية .

د - مياه تغذية الغلاية :

العسر ، الأملاح الكلية المذابة ، المواد العالقة والهلامية ، ثاني أكسيد الكربون يجب إزالته ، العدوانية بالنسبة للتآكل يتم مقاومتها بالإضافات الكيماوية .

هـ - الصرف على المسطحات المائية :

معايير الأحمال العضوية (الأكسجين الحيوي والأكسجين الكيماوي المستهلك) ، المواد العالقة ، السمية تختلف طبقا لموقع الصرف .

٤ - مصادر الملوثات :

أ - الأملاح الغير عضوية المذابة ومصدرها :

المصدر : غسيل الأملاح المعدنية في التربة بالمياه عند الالتصاق بها وكذلك ثاني أكسيد الكربون الموجود في الهواء الجوي والذي يؤدي إلى العسر والقلوية والمحتويات المعدنية الأخرى . الأسمدة وهي غالبا أملاح الفوسفات والنترات والكبريتات . بعض الأملاح الغير عضوية في مياه الصرف المعالج على المسطحات المائية والتي تكون غالبا الصوديوم ، الكلوريد ، الفوسفات . الصرف الصناعي من مختلف الأنواع وخاصة من عمليات طلاء المعادن بالترسيب الكهربي . الملوحة (أساسا الكلوريدات) من مياه البحر أو الناتجة عن تسرب مياه البحر في الخزان الجوفي أو من الخزانات الجوفية ذات المياه المالحة . تحلل المواد العضوية النيتروجينية منتجة مركبات الأمونيوم والنترات .

ب – الأملاح العضوية المذابة ومصدرها :

الملوثات الطبيعية الناتجة عن تحلل المواد النباتية والحيوانية والذي يؤدي إلى وجود مواد مسببة للون بالإضافة إلى وجود أحماض الهيوميك والفولفيك (Humic , Vulvic Acids) المخلفات المنزلية ، الصابون ، المنظفات . الصرف الصناعي من مختلف الصناعات الغذائية ، دباغة الجلود ، صناعة الورق ، الصناعات الكيماوية والدوائية والتي تحتوى على الشحومات والزيوت والمذيبات . مخلفات المبيدات الحشرية ومبيدات الحشائش .

جـ – المواد الهلامية العالقة العضوية والغير عضوية :

المواد الهلامية الغير عضوية مثل الطفلة وأكاسيد الحديد والمنجنيز . المواد العضوية الطبيعية . الصرف الصناعي من صناعة الورق . مكونات المواد الهلامية في مياه الصرف الصحي .

المواد الغير عضوية العالقة :

المواد الطبيعية ومعظمها يكون من الرمال ، من مخلفات الصرف الصناعي .

المواد العالقة العضوية :

من مخلفات النبات والحيوان ، ومن مخلفات الصرف الصناعي والصرف

الصحي .

د – الكائنات الحية الدقيقة :

وهذه تشمل الطحالب والفيروسات والبكتريا والبروتوزما .. الخ . وهذه تكون موجودة في جميع المياه الطبيعية السطحية ، ويعمل على زيادة نموها وتكاثرها وجود المواد العضوية مثل مياه الصرف الصحي كما أن أشعة الشمس تعمل على نمو الطحالب كما تنشط البكتريا المؤكسدة للحديد في مياه الآبار وخطوط مواسير نقل وتوزيع المياه . وتنشط البكتريا المختزلة للكبريتات في الظروف اللاهوائية . كما توجد الكائنات المائية الكبيرة في كل المسطحات المائية وتتكاثر بكميات كبيرة عند توافر الغذاء . كما توجد النباتات المائية الطافية وذات الجذور .

هـ – الغازات :

يوجد غاز الأوكسجين وغاز ثاني أكسيد الكربون في كل المياه الطبيعية ، بعض المياه الجوفية تحتوى على كميات كبيرة من ثاني أكسيد الكربون ، وقليل منها يحتوى على كبريتيد الهيدروجين والنشادر نتيجة التحلل البيولوجي اللاهوائي للملوثات العضوية من المصادر الزراعية والمنزلية والصناعية . مياه التبريد تلتقط ثاني أكسيد الكربون كما أن بعض الصناعات تقوم بحقن الكلور وثاني أكسيد الكبريت . نمو الطحالب يزيل ثاني أكسيد الكربون ويعمل على رفع المحتوى من الأكسجين المذاب نهارا والعكس ليلا .

٥ – أثر الملوثات على مختلف الاستخدامات للمياه :

أ – إمدادات مياه الشرب :

(١) حدود الأملاح الغير عضوية المذابة :

- إجمالي الأملاح الغير عضوية المذابة ٥٠٠ جزء في المليون
- العسر ٢٠٠ جزء في المليون
- الكبريتات ١٠٠ جزء في المليون

- الفلوريدات لا تزيد عن واحد جزء في المليون
- الرقم الهيدروجيني من ٦–٨
- الأملاح المعدنية المذابة المسببة للسمية مثل أملاح المعادن الثقيلة والسيانيد يجب التخلص منها . النترات يجب ألا يزيد محتوها عن ١٠ جزء في المليون.

تتداخل الامونيا مع عمليات التطهير باستخدام الكلور .

(٢) المواد العضوية المذابة :

اللون والرائحة والمذاق من الاعتبارات الهامة لقابلية للمياه الشرب والمعايير المقبولة تتوقف على عادات السكان المحليين . المواد المسببة للسمية مثل المبيدات أو المركبات العضوية المعدنية (Organometallic) يجب عدم وجودها . الفينولات تسبب مذاق غير مقبول ومنفر وذلك عند كلورتها .

(٣) المواد الهلامية والغير هلامية العالقة العضوية والغير عضوية :

وهذه المواد تسبب عدم القابلية وعدم الاستساغة ، حيث في بعض إمدادات مياه الشرب توجد بعض الأجسام العالقة الناتجة عن تحلل بعض المخلفات النباتية وقد تحتوى المياه على أملاح الحديد والمنجنيز المؤكسدة الهلامية والمسببة للون .

العكارة المرئية يكون مستواها هو واحد جزء في المليون . بما يتطلب عدم وجود هذه المواد الهلامية العالقة بتركيز لا يزيد عن واحد جزء في المليون .

وكذلك جميع المواد العالقة سواء كانت عضوية أو غير عضوية هلامية أو غير هلامية .

(٤) الكائنات الحية :

يتم الحد من وجود هذه الكائنات الممرضة والغير ممرضة ، كما أن هذه ألكائنات الدقيقة قد تنمو وتتكاثر في شبكات التوزيع وفي خزانات المياه . الكائنات المسببة للأمراض يجب عدم وجودها ، كما يجب عدم وجود الكائنات المائية الكبيرة .

(٥) الغازات المذابة :

الأمونيا ولو بكميات صغيرة تسبب الرائحة الغير مقبولة كما أن ثاني كبرتيد

الهيدروجين يسبب رائحة منفرة وهذه الغازات تسبب مذاق رديء للمياه . غازات الأكسجين وثاني أكسيد الكربون المذابة في الماء تحسن من خاصية المذاق وقابلية المياه للشرب .

ب - الاستخدامات الأخرى لغير مياه الشرب :

أهم الاعتبارات في هذه الحالات هو طبيعة المياه العدوانية أي الرقم الهيدروجيني ، الكلوريدات ، الأملاح الكلية المذابة وذلك في حالة استخدام المياه للري. كما أن وجود عناصر معينة يعتبر هام مثل عنصر البورون بما يتطلب الحد من وجوده وخاصة في حالة استخدام المحاصيل ذات الحساسية للبورون .

كما أن الملوثات الأخرى مثل المواد العضوية المذابة والمواد العالقة الهلامية والعضوية والغير عضوية ، حيث يمكن التجاوز عند هذه الملوثات ذات النسب المتوسطة من المواد الهلامية وكذلك وجود أجسام صغيرة من المواد العالقة .

بالنسبة للكائنات الحية الدقيقة فان المستويات الأعلى من معايير تلوث مياه الشرب بها لا يكون مقبولا ، ولكن في حالة الكلورة الزائدة فان هذا يعمل على إيقاف نموها وتكاثرها وخاصة في حالة المياه الملوثة .

بالنسبة للغازات المذابة فلا توجد مشاكل بسببها وقد يكون المحتوى من الكلور المذاب مرتفع .

جـ - المياه المستخدمة في العمليات الصناعية وكذلك مياه التبريد :

من أهم الاعتبارات في هذه الاستخدامات هو عدم عدوانية المياه وإحداثها لتأكل الأوعية وخطوط المواسير وكذلك عدم إحداث ترسيبات (Scales) على الأسطح الملاصقة وخاصة أسطح التسخين المعدنية . كما أن زيادة المحتوى من مواد غذاء الكائنات الدقيقة (الفوسفور ، النيتروجين ، مواد عضوية) يعمل على زيادة نمو وتكاثر الكائنات الدقيقة بما يسبب وجود العفن (Slimes) .الحديد والمنجنيز وبعض المواد العضوية هذه المواد تعمل على الالتصاق على أسطح الملابس والأوعية أثناء عملية الغسيل .. الخ . وكذلك هذه المواد تتأكسد في العمليات الصناعية الكيماوية والدوائية ، وفي صناعة الإليكترونات والتي تتطلب مستوى عالي جدا من المياه النقية .

الاحتياجات للعمليات الصناعية تختلف كثيرا . المحتوى المتوسط من المواد العضوية ليس له أهمية في التبريد ، بينما المحتوى العالي من المواد العضوية يمكن ان يسبب ترسيب أملاح العسر في شكل طبقات ملتصقة . مواد المنظفات الصناعية يمكن ان تحدث الرغاوي .

بالنسبة لمتطلبات الخلو من المواد الهلامية والمواد العضوية والغير عضوية العالقة فان هذا يختلف كثيرا طبقا لنوع الصناعة ولكن تراكم الأتربة من الهواء الجوي قد يسبب مشاكل في عملية التدوير لنظم التبريد . في حالة الكائنات الحية الدقيقة فإنها ليست ذات أهمية في كثير من الصناعات عدا الصناعات الغذائية والدوائية . مياه الصناعات الغذائية تتطلب نوعية مياه مطابقة لمواصفات مياه الشرب . مياه الصناعات الدوائية تطلب نوعية مياه ذات مواصفات خاصة . الكائنات الحية الدقيقة يمكن أن تسبب بترسيبات عفن في نظم تدوير مياه التبريد أما الكائنات المائية كبيرة الحجم فإنها تزال بواسطة المصافي عند استخدام المياه في أغراض التبريد .

الغازات مثل ثاني أكسيد الكربون في بعض المناطق الصناعية وكذلك غاز ثاني أكسيد الكبريت حيث أن المياه يمكن أن تلتقط هذه الغازات بما يسبب حدوث مشاكل في نظم التدوير واعادة الاستخدام .

٤ - مياه التغذية للغلايات لانتاج البخار :

يجب إزالة العسر والأملاح الكلية المذابة والمواد العالقة والهلامية وكذلك ثاني أكسيد الكربون من هذه المياه .مقاومة التآكل تتم بإضافات من مواد الحماية من التآكل أو تثبيط التآكل . بالنسبة للمواد الصلبة المذابة الغير عضوية فانه مع زيادة ضغط التشغيل للغلاية يلزم زيادة الخفض للمحتوى من العسر والقلوية والأملاح الغير عضوية المذابة والسيليكا ، وخاصة في حالة التغذية بمياه جديدة . أما في حالة إعادة استخدام المياه المكثفة بعد خروجها من الغلاية فانه يلزم معالجتها في حالة تلوثها . يتم ضبط الرقم الهيدروجيني بحقن الكيماويات . المواد العضوية المذابة وكذلك المواد الهلامية العضوية والغير عضوية العالقة تسبب حدوث مشاكل في حالة استخدام التبادل الأيوني حيث تحدث الترسيبات والتي تقلل من كفاءة الأداء . يمكن التجاوز عن تراكم

بعض المواد بنسبة قليلة في حالة الغلايات التي تعمل بالضغط المنخفض أما المواد العضوية العالقة فيجب إزالتها .

الكائنات الحية ليست ذات أهمية عدا في حالة المشاكل التي نحدثها بسبب نمو الطحالب في محطات معالجة مياه التغذية للغلايات . أما الكائنات المائية الكبيرة فيجب التخلص منها . الغازات المذابة مثل ثاني أكسيد الكربون والأكسجين يمكن إزالتها بواسطة نظم إزالة الغازات أو باستخدام الجرعات الكيماوية . يمكن حقن النشادر لضبط الرقم الهيدروجيني .

هـ - الصرف ثانيا على المسطحات المائية :

الصرف على المسطحات المائية يتطلب خفض الأحمال العضوية (BOD) ، المواد العالقة والسمية ودرجة الحرارة وكل هذه الاعتبارات تختلف طبقا لموقع الصرف .

بالنسبة للمواد الغير عضوية المذابة فان الحدود العادية هي الرقم الهيدروجيني ودرجة الحرارة والمواد المسببة للسمية مثل المعادن الثقيلة . كما أن الكبريتات يجب الحد منها نظرا لأنها تسبب التآكل في مواسير الصرف . المواد العضوية الغذائية تعمل على توفر عوامل النمو والتكاثر للكائنات المائية .. الخ. النشادر سامة للكائنات المائية (الأسماك) . كما ان زيادة الأملاح الكلية المذابة يمكن ان يسبب بعض المشاكل. بالنسبة للمواد العضوية المذابة يمكن التعامل معها بالتخفيف أو المعالجة وذلك للحد من انخفاض المحتوى من الأكسوجين المذاب وحدوث روائح كريهة وكذلك حدوث رغاوي . كما يلزم التخلص من المركبات السامة .

المواد العضوية العالقة تسبب حدوث روائح وكذلك زيادة الحمل العضوي (BOD) وتغير لون المياه ، كما أن المواد العالقة العضوية والغير عضوية قد ترسب في قاع المسطح المائي بما يعيق نمو الأحياء المائية كما قد يسبب تحلل لاهوائي بما ينتج عنه روائح منفرة .

أما بالنسبة للكائنات الحية الدقيقة والكبيرة والغازات المذابة فلا توجد مشاكل كبيرة تسببها .

٦ - عمليات المعالجة التقليدية :

أ - بالنسبة للأملاح الغير عضوية المذابة : بالنسبة للحديد والمنجنيز تتم عمليات الأكسدة والترسيب والترشيح باستخدام طرق المعالجة بالصودا - الجير على الساخن أو على البارد كما تستخدم طرق معالجة أخرى لترسيب المعادن الثقيلة. تتم الكلورة للتخلص من أملاح السيانيد . تستخدم طرق إزالة القلوية وإزالة الأيونات ، طرق إزالة / خفض العسر بالتبادل الأيوني .

وتستخدم طرق التناضح العكسي والديلزة الكهربية والتقطير . أكسدة الامونيا إلى النترات ، إزالة النترات (NO_3) بتحويلها إلى النيتروجين وذلك من خلال العمليات البيولوجية .

ب - المواد العضوية المذابة تستخدم كيماويات الترويب ثم الترسيب والترشيح وكذلك طرق الفصل بالطفو والتناضح العكسي والترشيح الفائق (Ultrafilteration) والفحم المنشط والعمليات البيولوجية ، التحلل باستخدام الكيماويات مثل استخدام الكلور والأوزون وبرمنجنات البوتاسيوم .

جـ - المواد الهلامية العالقة العضوية والغير عضوية والمواد الصلبة العالقة يتم بالترويب وبطرق المعالجة البيولوجية والترشيح الفائق . المواد الصلبة العالقة يتم التخلص منها بالترسيب وكذلك باستخدام مصافي الحجز والترشيح بالمعالجة البيولوجية بالنسبة للمواد العضوية المذابة والعالقة .

د - الكائنات الحية الدقيقة والكبيرة : يمكن خفض المحتوى من الكائنات الدقيقة بالمعالجة البيولوجية والترشيح الميكروني (Micro filteration) وباستخدام الكلور كمواد التطهير أو باستخدام الأوزون أو أي مواد أخرى قاتلة للكائنات الدقيقة . كما تستخدم الأشعة فوق البنفسجية أو المواد المشعة أو التعقيم . أما الكائنات المائية الكبيرة فيتم التخلص منها بعمليات الحجز بالمصافي .

هـ - الغازات المذابة : يتم التخلص من ثاني أكسيد الكربون والأكسجين بالطرق الحرارية و/أو الطرق الميكانيكية . كما يمكن إزالة الأكسجين المذاب باستخدام السلفيت (Sulphites) أو الهيدرازين إزالة الكلور المتبقى تتم باستخدام الفحم

المنشط أو باستخدام الكبريتيت (Sulphites) أو باستخدام ثاني أكسيد الكبريت .

كما ان الغازات المذابة يمكن التخلص منها بالتبادل الأيوني .

٧ - النسب التقريبية للملوثات في مصادر المياه :

أ - مياه الآبار العميقة :

وهذا يعني المياه التي تسربت خلال طبقات عميقة من التربة ويشمل كذلك مياه العيون النابعة من هذه المياه الجوفية العميقة :

- التحاليل الكيماوية :

اللون : صافي

المواد العالقة : قليلة جدا

التوصيل الكهربي : ميكروموز/سم ٥٧٠ (MS/C = 570)

الرقم الهيدروجيني : ٧,٣ - ٧,٩

الأملاح الكلية المذابة : ٤١٠

- الكاتأيونات :

الكالسيوم : مقدار جزء في المليون كربونات كالسيوم (٢٥٠)

الماغنسيوم : مقدار جزء في المليون كربونات كالسيوم (٧٥)

الصوديوم : مقدار جزء في المليون كربونات كالسيوم (٢٥)

- الآن أيونات :

البيكربونات : مقدار جزء في المليون كربونات كالسيوم (٢٥٠)

الكلوريد : مقدار جزء في المليون كربونات كالسيوم (٤٠)

الكبريتات : مقدار جزء في المليون كربونات كالسيوم (٥٠)

النترات : مقدار جزء في المليون كربونات كالسيوم (١٠)

- المواد العضوية : منخفضة جدا .

من المحتمل أن تحتوى هذه المياه على الحديد المذاب وأحيانا على المنجنيز المذاب والذي يكون رواسب حمراء تميل إلى اللون الأصفر عند تعرض المياه للهواء الجوي . بعض مياه الآبار تحتوى على الرمال . الكائنات الحية الدقيقة عادة منخفضة

جدا أو تكاد تكون معدومة . وعلى العكس ثاني أكسيد الكربون يمكن أن يكون بتركيز عالي ، بما ينتج عنه رقم هيدروجيني اقل من السابق ذكره .

أثناء التسرب إلى جوف الأرض تفقد المياه المواد العضوية سواء الحية أو الميتة ، ولذلك عند ضخها من باطن الأرض تكون ذات محتوى منخفض جدا من المواد العضوية أو الملوثات البكتيريا وقد تكون هذه الملوثات العضوية والبكتيرية معدومة تماما .

وقد يمكن استخدامها للشرب بأمان بدون تعقيم . بالمقارنة فان المياه من الآبار الضحلة هي التي كانت مسئولة عن انتشار مرض الكوليرا في القرن التاسع عشر في لندن . على الجانب الآخر فان تسرب المياه يمكنها من إذابة المواد القابلة للإذابة بالماء الموجودة في التربة والصخور ، وباستخدام الحموضة يسبب وجود ثاني أكسيد المذاب فان هذه المياه تكون ذات محتوى عالي من الأملاح الكلية المذابة ، وأن معظم هذه الأملاح المذابة تكون هي أملاح بيكربونات الكالسيوم مع اختفاء الحموضة فان الرقم الهيدروجيني يكون على الجانب القلوي . لذلك فان المياه تكون عسر وأن معظم العسر يكون هو العسر المؤقت (Temporary Hardness) . ولذلك فان هذه المياه تكون مسببة لتكوين ترسيبات (Scales) في خطوط المواسير كما أنها تكون رواسب حادة في الغلايات .

عند أخذ المياه من العمق تكون غالبا ذات محتوى منخفض من الأكسجين المذاب ، وفي هذه الحالة فإنها تحتوى على بيكربونات الحديد والمنجنيز المذاب في الماء . وعند الالتصاق بالهواء الجوي فان البيكربونات تتأكسد يفعل أكسجين الهواء الجوى إلى الحالة الغير مذابة من أملاح كربونات الحديد وكربونات المنجنيز . في هذه الحالة تكون المياه الخارجة من البئر رائقة وغير ملونة ، ولكنها تصبح ملوثة باللون البني لوجود مواد وزغبات عالقة بنية اللون وهذه لها تأثير إحداث لطع كما تسبب التلف لبعض العمليات ذات الحساسية للون مثل عمليات الصباغة .

معظم مياه الآبار العميقة ذات محتوى منخفض من المواد الصلبة العالقة ولكن بعض الآبار يحدث منها تسرب للرمال مع المياه . وأحيانا تكون هذه الرمال صغيرة

جدا بما لا يمكن من إزالتها بالترشيح المباشر بما يتطلب استخدام عمليات الترويب بالمروبات الكيماوية أولا .

ملحوظة :

الميكرموز/سم هو مقياس التوصيل الكهربي (MS/cm) وهو دلالة لتركيز الأملاح الكلية المذابة في الماء . حيث يمكن من قيمة الميكروموز × ٠,٧ تقريبا. حيث من المثال السابق للمياه الجوفية الميكروموز = ٥٧٠ × ٠,٧ = ٤٠٠ جزء في المليون .

ب - مياه المستنفعات والسبخات (Moorland water)

التربة ذات الطبقة الصغيرة السمك والمسامية والتي تغطي طبقة صخرية غير مسامية لها نوعية خاصة من المياه كالآتي :

اللون : يميل إلى اللون الأصفر الخفيف - ويكون رغاوي

المواد العالقة : متغيرة

التوصيل الكهربي : سنتيموز / سم (MS/cm) = ١٥٠

الرقم الهيدروجيني : = ٦,٥ - ٧,٢

الأملاح المذابة : بالجزء في المليون = ١٠٥

- الكاتايونات :

الكالسيوم : مقيم جزء في المليون كربونات كالسيوم ٣٠

الماغنسيوم : مقيم جزء في المليون كربونات كالسيوم ١٥

الصوديوم : مقيم جزء في المليون كربونات كالسيوم ٣٥

- الآن أيونات :

البيكربونات : مقيم جزء في المليون كربونات كالسيوم ٣٠

الكلوريد : مقيم جزء في المليون كربونات كالسيوم ٣٠

الكبريتات : مقيم جزء في المليون كربونات كالسيوم ١٥

النترات : مقيم جزء في المليون كربونات كالسيوم ٥

السيليكا : مقيم جزء في المليون كربونات كالسيوم ٦

- المواد العضوية : مقيمة جزء في المليون كبرمنجنات البوتاسيوم ١٠-٢٠

عند سحب هذه المياه من البحيرات .. الخ . فإنها يمكن أن تكون ذات محتوى منخفض جدا من المواد الصلبة العالقة . عند سحبها من المجاري المائية فانه توجد كميات مختلفة من المواد العالقة المذابة والهلامية . مياه الأمطار بعد فترة من المناخ الجاف يمكن أن تجعل المياه ذات اللون البني الغامق بهذه المواد .

سقوط الأمطار على هذا النوع من الأرض إما أن تعمل على دفعها إلى المسطحات المائية أو أي تجمع في مناطق منخفضة من التربة أسفلها طبقة صخرية صماء حيث تكون مملوءة بمخلفات نباتية . هذه المياه تلتقط كمية صغيرة من الأملاح المعدنية عند سريانها فوق الصخور الغير مسامية ، لذلك تكون ذات محتوى منخفض من الأملاح المعدنية المذابة . نسبة العسر والبيكربونات تكون منخفضة . الأملاح الكلية المذابة تكون أقل في هذه المياه مقارنة بمياه الآبار العميقة . على الجانب الآخر يكون محتوى المياه من الأكسجين المذاب جيد وكذلك بالنسبة لثاني أكسيد الكربون ، حيث يمكن أن تكون حامضية ليصل الرقم الهيدروجيني إلى اقل من (٦). انخفاض الرقم الهيدروجيني وعدم وجود أملاح الدرئ (Buffering) من البيكربونات وأملاح العسر يعني أن المياه ليست عسر وأنها عدوانية ، حيث يمكن أن تسبب التآكل في مواسير الصلب ، وخاصة في حالة استخدام مواسير الرصاص في توصيلات مياه الشرب تسبب خطورة نظرا لتآكل الرصاص في المجال الحمضي . كما أن هذه المياه تحتوى على نسبة عالية من المواد العضوية والهلامية والتي يكون معظمها حامضي والتي تكون أحماض الفولفيك والهيوميك (Fulvic , Humic) وهذه الأحماض غير مذابة وإن كانت تذوب عند رقم هيدروجيني منخفض . وهذه المياه تحتاج إلى معالجات لاستخدامها في الصناعة وفي الإنتاج الصناعي والدوائي .

جـ - المياه السطحية Surface Waters

المياه السطحية تنطبق معناها على الأنهار ، البحيرات ، وهي عادة تكون ملوثة بمواد طبيعية وبمواد صناعية . تحاليل هذه المياه كالآتي :

بالنسبة لمياه الأنهار :

اللون : توجد عكارة

المواد العالقة : ١٠ - ٣٠ جزء في المليون

التوصيل الكهربي : ميكروموز / سم ٩١٥ (MS/cm = 915)

الرقم الهيدروجيني : ٧ - ٨

الأملاح المذابة : ٦٤٠

- الكاتايونات :

الكالسيوم : مقيم كربونات كالسيوم جزء في المليون ٢٠٠

الماغنسيوم : مقيم كربونات كالسيوم جزء في المليون ٧٥

الصوديوم : مقيم كربونات كالسيوم جزء في المليون ٢٠٠

- الآن أيونات :

البيكروبونات : مقيم كربونات كالسيوم جزء في المليون ١٢٥

الكلوريد : مقيم كربونات كالسيوم جزء في المليون ١٢٥

الكبيرتات : مقيم كربونات كالسيوم جزء في المليون ١٧٥

النترات : مقيم كربونات كالسيوم جزء في المليون ٥٠

السيليكا : مقيم كربونات كالسيوم جزء في المليون ١٠

- المواد العضوية : متغيرة جدا - تحتوى على منظفات ... الخ .

ملوثات أخرى : كل المواد الصناعية ، المنظفات ، الفوسفات ، الزيوت ، المعادن الثقيلة ، مياه الصرف الصحي المعالج والغير معالج ، الطمي .. الخ . كما يحتمل تلوث هذه المياه بالبكتريا ، كما أن المحتوي من الأمونيا والفينول والنيتريت يمكن أن يكون بنسبة عالية .

الصرف الزراعي والآدمي :

الصرف الزراعي يزيد من مستويات النترات والفوسفات وخاصة في الأراضي الزراعية حيث يزداد فيها استخدام الأسمدة الصناعية . هذه المستويات الإضافية تلاحظ غالبا عند سقوط الأمطار بعد فترة الجفاف . بالإضافة إلى النترات

والفوسفات توجد كذلك مكونات أخرى مثل الكبريتات والفوسفات . هذا بالإضافة إلى زيادة عسر المياه . كما أن المياه السطحية تحتوى على الملوثات من المخلفات العضوية الحيوانية والنباتية . في المناطق الحضارية وحيث الكثافة السكانية العالية توجد المنظفات الصناعية والكيماويات المرتبطة بها . تحلل هذه المواد العضوية يقلل من مستوى الأكسجين المذاب في الماء بينما يزيد من نيتروجين الأمونيا . كما أن وجود هذه المخلفات العضوية يزيد من الأكسجين الحيوي المستهلك (BOD) والأكسجين الكيماوي المستهلك (COD) . الصرف الصحي يزيد من الأملاح المذابة بنسبة ٥٠ جزء في المليون بالإضافة إلى الملوثات العضوية . كما ان الصرف الصناعي يحتوى على جميع أنواع الملوثات .

المياه من المناطق الجافة :

د - المياه من المناطق الجافة (الغير ممطرة) :

المناطق الغير ممطرة تحتوى على مياه ذات محتوى منخفض من المواد العضوية ومحتوى مرتفع من المواد الغير عضوية ، حيث تكون مياه الأنهار ذات لون متغير موسميا كما توجد الرمال والطفلة في حالة فيضان النهر . التحليل كالآتي :-

التوصيل الكهربي ميكروموز/سم ١٠٠٠ - ٧٠٠٠

الرقم الهيدروجيني ٧,٥ - ٨,٥

الأملاح الكلية المذابة ٧٠٠ - ٥٠٠٠

- الكاتأيونات :

الكالسيوم : مقيم جزء في المليون كربونات كالسيوم ٢٥٠ - ١٥٠٠

الماغنسيوم : مقيم جزء في المليون كربونات كالسيوم ١٥٠ - ٥٠٠

الصوديوم : مقيم جزء في المليون كربونات كالسيوم ١٥٠ - ٢٠٠

- الآن أيونات :

البيكربونات : عادة أقل من ٢٥% نسبة إلى الأيونات الكلية .

الكلوريد : مقيم جزء في المليون كربونات كالسيوم حتى ٢٠٠٠ بسبب تسرب مياه البحر .

الكبريتات : مقيم جزء في المليون كربونات كالسيوم حتى ١٥٠٠ في التربة المحتوية على كبريتات الكالسيوم .

السيليكا : مقيم جزء في المليون كربونات كالسيوم : ١٠ – ٢٠ .

- الملوثات الأخرى :

مياه الآبار العميقة قد تحتوى على كبريتيد الهيدروجين المذاب ، بعض ميــاه الآبار قد تكون ساخنة . لمياه من المجاري السطحية تختلف ما بين فصول الصيــف والشتاء وخاصة بالنسبة للعكارة والمواد العالقة .

في المناطق الساحلية يحدث تسرب لمياه البحر حيث تكون المياه المالحة أسفل طبقة المياه العزبة في التربة الحاملة للمياه الجوفية وعند السحب من هذه الطبقة العزبة بواسطة الآبار فان المياه المالحة تتحرك إلى أعلا بما يحتم عدم السحب الجائر في هذه الحالات . تسرب مياه البحر إلى الخزان الجوفي الساحلي يمكن أن يصل إلى مســافة حتى ٣٠ كيلومتر داخل المنطقة الساحلية ، مثال لذلك الساحل الليبي .

هـ – المياه المالحة ومياه البحر (Brackish Water , Sea Water) :

الخاصية	المياه المالحة	مياه البحر
التوصيل الكهربي – ميكروموز/سم	٢٢٥٠	٥١٠٠
الرقم الهيدروجيني	٧,٥	٧,٩
الأملاح المذابة – جزء في المليون	٢٠٠٠ – ١٠٠٠٠	٢٥ ألف – ٤٠ألف
الكاتأيونات :		
الكالسيوم	٦٠	٣٥٠
المغنسيوم	٧٣	١٣٣٠
الصوديوم	٢٥٧	١٠٣٠٠
البوتاسيوم	١٥	٣٥٠
الحديد	٠,٠٦	–
المنجنيز	٠,٠٠٢	–
الآن أيونات		

الخاصية	المياه المالحة	مياه البحر
الكلوريد	٥٠٢	٢٠٠٠٠
الكبريتات	١٦٠	٢٨٥٠
الفلوريد	٢,٠٥	–
السيليكا	٢٤,٥	٢٠

٨ - اعتبارات مستوى نقاء المياه :

يتم تحضير المياه النقية من مياه الشرب بطريقة واحدة أو بعده طرق حيث يمكن الحصول على مياه نقية تقارب نظريا H_2O . قياس التوصيل الكهربي يوضح فقط وجود المواد الأيونية ولذلك ليس دليل لعدم وجود الملوثات البيولوجية أو العضوية . لذلك فقد تم تقسيم المياه النقية *إلى أربع أنواع كما في الجدول (٤) حيث كل نوع منها* هو مياه الشرب وهي :

أ - مياه تم تحضيرها بواسطة نظم التقنية التجارية .

ب - مياه مناسبة للتطبيقات العملية والدوائية والصناعية .

جـ - معرفة بوحدات دولية .

د - مقاسة بأجهزة تجارية أو عمليات التحاليل .

في معظم الاستخدامات في مجال الأبحاث ، الدواء ، الصناعة تتكون عملية تنقية المياه من سلسلة من العمليات التكنولوجية والتي تتجمع في عملية واحدة .

جدول (٤) جدول لدرجات النقاء للماء

	مستوى ١	مستوى ٢	مستوى ٣	مستوى ٤
الوحدات	مياه نقية كيماوية وبيولوجية	مياه نقية كيماوية مع قليل من العضوية	مياه نقية مع آثار من المواد المذابة والغازات	مياه نقية مع قليل من المواد الصلبة والسيليكا ، CO_2
التوصيل الكهربي ميكروسيمونز/سم	٠,٠٥٥	٠,٠٥٥	١-٢	٥٢
المقاومة ميجا أوم/سم عند ٢٥°م	١٨	١٨	١-٠,٥	٠,٥-٠,٠٢
المواد الصلبة العالقة/جزء في المليون	–	–	< ٠,٥	< ٠,٠٥
المواد العضوية (أكسجين حيوي جزء	< ٠,١			

	مستوى ١	مستوى ٢	مستوى ٣	مستوى ٤
في المليون)				
الرقم الهيدروجيني	٧	٦,٥-٧	٥,٨-٨,٥	٤-٨,٥
السيليكا SiO_2 جزء في المليون	< ٠,٠٠٢	< ٠,٠٠٥	< ٠,٠٥	< ٠,٠٥
المعادن المذابة جزء في المليون	< ٠,٢٠٠	< ٠,٠٠٥	< ٠,٠٥	< ٠,٠٥
مواد هلامية	–	–	–	–
ثاني أكسيد الكربون جزء في المليون		١		

تصنيف نوعية المياه : Water Quality Classification

يمكن تقسيم أنواع المياه طبقا لمحتواها من الملوثات إلى أربعة أقسام رئيسية وهي الملوثات التي تؤثر على اختيار طريقة المعالجة للمياه واقتصادياتها ، وذلك لتنقيتها للاستخدامات المطلوبة . وهذه الملوثات يعبر عنها بالمعايير للمياه (Parameters) وهي كالآتي :

٩ - المعايير الطبيعية للمياه : (Physical Parameters)

أ - المذاق والرائحة : وهذه تعطي إشارة عن التغير في المياه ولكن ليست وحدات قياس موجودة لمعايرتها ، حيث يتم التقييم للملاحظة فقط .

ب - اللون : اللون يؤثر على قابلية المياه للشرب وعادة يتم قياس اللون بالطرق المعملية باستخدام محول قياسي في أنابيب نسلر (Nessler Tubes) .

جـ - العكارة : وهي عبارة عن المواد العالقة الغير مذابة وهي توجد غالبا في المياه السطحية – وهي غير مقبولة في معظم الاستخدامات . ويمكن قياسها بطرق كثيرة .

د - المواد الهلامية والغروية (Colloids) : وهي عبارة عن مواد عالقة غير مذابة وغير قابلة للترسيب كما لو كانت محلول حقيقي . حجم حجم الحبيبات ما بين ٠,١ ميكرومتر (0.1/mm) ($١٠^{-٣}$ ملميتر) وواحد مليميكرومتر (1 mMm) ($١٠^{-٦}$ مليمتر) . ولها مساحة سطحية كبيرة .

١٠ - المعايير الكيماوية للمياه :

أ - التوصيل الكهربي (لقياس الأملاح الصلبة الكلية المذابة) :

وهو قياس لكل المواد التي تتأين والموجودة في الماء . وهو طريقة سريعة وموثوق فيها لقياس وتقدير معالجات المياه . وهذا القياس للأملاح المذابة يستخدم في قياسات كل معالجات المياه ومدى صلاحية المياه للاستخدامات المختلفة . توجد علاقة ما بين الأملاح الأيونية المذابة (Electrolytes) والتوصيل الكهربي للماء . حيث كلما زادت الأملاح الأيونية المذابة ذادت قدرة التوصيل الكهربي للمياه . القياسات المستخدمة في المياه بالتحليل الكهربي يعبر عنها بالميكروسيمتز على السنتيمتر (MS/CM) . والتحويل القياسي الكهربي إلى أملاح مذابة يتم ضرب قيمة الميكروسيمتر - سنتيمتر في ٠,٧ أو في المتوسط ٠,٦٤ حيث يكون الناتج جزء في المليون أملاح مذابة ,

ب - تركيز أيون الهيدروجين (P H – Value)

تركيز أيون الهيدروجين هو قياس لطبيعة المحلول سواء كان حامضي أو قلوي والذي له تأثير على عملية المعالجة وكذلك على المنتج النهائي للاستخدام المعين. ويتم القياس بجهاز قياس الرقم الهيدروجيني الذي هو الجهاز الشائع الاستخدام لهذا القياس .

جـ - عسر المياه (Water Hardness)

يحدث العسر للمياه بسبب وجود أملاح الكالسيوم والمغناسيوم المذابة في الماء وهي أملاح البيكربونات لهذه العناصر - العسر يؤثر على المياه بالنسبة للاستخدامات المنزلية والصناعية والطبية . العسر يسبب حدوث ترسيبات وقشور على الأسطح الملاصقة عند ارتفاع درجة الحرارة حيث تتحول أملاح البيكربونات إلى الكربونات آلغير مذابة . ويقاس العسر بالطرق المعملية .

د - القلوية : Alkalinity

القلوية هي مقياس لكل الأيونات المسببة للقلوية في الماء وليس لها علاقة بأي أيون معين .

هـ - الحموضة المعدنية : (Mineral Acidity)

تلوث المياه السطحية بمخلفات الصرف الصناعي ينتج زيادة في الحموضة (خفض الرقم الهيدروجيني ليكون أقل من ٧) وهذا يؤثر على خطوط مواسير نقل وتوزيع المياه وكذلك الغلايات لانتاج البخار المستخدم في توليد الطاقة حيث يكون أثر هذه الحموضة هو التآكل والتلف .

وتقاس الحموضة بمقياس الرقم الهيدروجيني .

١١ - معايير معينة : (Specific Parameters)

أ - الحديد :

يؤثر الحديد على قابلية المياه للشرب وهو كذلك يكون ترسيبات . الشكل العام للحديد هو كربونات الحديد وايدروكسيد الحديدوز وعند تعرض مياه الآبار المحتوية على هذه الأملاح إلى الهواء الجوي فإنها تتحول إلى الحديديك ذو اللون الأحمر الطوبي التي لا تذوب في الماء وهي مواد عالقة هلامية . ويمكن إزالة أملاح الحديد من الماء بالترويب والترسيب والترشيح وأحيانا بالأكسدة باستخدام الكلور أو البرمنجنات ويمكن إزالة الحديد باستخدام التبادل الأيوني الغشائي .

ب - المنجنيز :

المنجنيز يشبه الحديد في نواحي كثيرة .

جـ - النحاس :

النحاس له تأثير غير مقبول بالنسبة لاستساغة المياه للشرب وكذلك له عدوانية التآكل على المواسير والأوعية المعدنية .

د - الزنك : يشبه النحاس

هـ - الكالسيوم : هو أحد مسببات العسر للمياه ، ويكون القشور والترسيبات ولذلك فهو غير مرغوب في محطات إنتاج البخار لتوليد الطاقة . عادة يتم إزالته بعمليات التبادل الأيوني . كما انه يمكن استمراره في المحلول بتحويله إلى مركب معقد (Complexing) بعملية التغليف بواسطة عناصر التغليف (Chelating Agents) لتكوين مركب مذاب مثال لعوامل التغليف EDTA أو NTA وهما :

EDTA = Ethylene diamine Tetracetic Acid
NTA = Nitrolotriacetic Acid

و – المغنسيوم : المغنسيوم يشبه كثيرا الكالسيوم ولكن ليس مثل الكالسيوم من حيث أن له تأثير على استساغة الماء للشرب

ز – الصوديوم : أحد أكثر المواد عدوانية في مولدات البخار والتربينات ، كما أنه أحد أول المواد المستخدمة في التبادل الكاتأيوني أو في المبادلات ذات طبقة التبادل المختلطة .

ح – السيليكا : السيليكا تكون الترسيبات والقشور في مولدات البخار والتربينات .

ط – المعادن السامة : الزرنيخ ، الكاديوم ، الرصاص ، الكروم ، الباريوم ، السيلتيوم وكل هذه المواد يجب التخلص منها قبل الصرف على المسطحات المائية . يمكن التعرف عليها بالتحاليل المعملية .

د – الكلوريد : له تأثير على قابلية الماء للشرب ويمكن ان يكون شديد العدوانية حيث أن حجمه الجزيئي يمكنه من اختراق طبقة الأكسيد للمعدن ثم التفاعل مع معدن الصلب.

ك – الفلوريد : الفلوريد مفيد في حالة وجود التركيز في حدود ١ مليجرام / لتر في مياه الشرب . في حالة زيادة التركيز يمكن أن يكون ضار بالصحة كما أنه يكون عدواني على المعادن . أحيانا يضاف الفلور إلى مياه الشرب بتركيزات من ٠,٨ إلى ١ مليجرام / لتر .

ل – النترات ، النيتريت : النترات ضارة بالصحة وخاصة بالنسبة للأطفال حتى سن ٦ شهور ، النيتريت يسبب فقد الأكسجين من دم بما يصيب الأطفال بما يسمى الطفل الأزرق (Blue Baby) وذلك عند وجوده في مياه الشرب وتوجد النترات والنيتريت نتيجة صرف مياه الصرف الزراعي على المسطحات المائية وكذلك نتيجة صرف مخلفات الصرف الصحي . يمكن إزالة أملاح النترات بالتبادل الأيوني . كما يمكن إزالة أملاح النترات والنيتريت بالمعالجة البيولوجية الهوائية واللاهوائية .

م – **الأمونيا والأمينات المتطايرة :** الأمونيا هى دلالة للتلوث . توجد الأمونيا في شكلين ، أما في شكل الأيوني (NH_4^+) وذلك عند رقم هيدروجيني أقل من ٧,٢ أو شكل النشادر (NH_3) وهو الشكل الغير أيوني عند رقم هيدروجيني أكبر من ١٠,٥ . ما بين قيم الرقم الهيدروجيني الموضحين يوجد مجموع الشكلين . في الحالة الغير أيونية تصبح الأمونيا خطرة بالنسبة للأسماك . في حالة كلورة المياه فان الأمونيا تتحد مع الكلور مكونة الكلورامين والتي هي أيضا سامة . توجد الأمونيا في المياه الطبيعية وذلك عند التحلل البيولوجي للمواد العضوية المحتوية على النيتروجين ويكون ذلك أساسا من المخلفات الزراعية ومخلفات الصرف الصحي . الأمينات المتطايرة مثل الهيدرازين (Hydrazine) تستخدم لتطهير المياه من الأكسجين وذلك لمنع التآكل في محطات توليد البخار .

ذ – **الفوسفات :** (Phosphates) أملاح الفوسفات تعمل على نمو الطحالب في المياه السطحية ، وهي كذلك تساعد في حياة الكائنات الدقيقة شأنها شأن النترات . أملاح الفوسفات توجد في أشكال مختلفة عادة وهي تقسم إلى الأورثوفوسفيت أملاح الفوسفات الموجودة في المركبات العضوية . توجد أملاح الفوسفات من الصرف الزراعي عند استخدام الأسمدة الفوسفاتية في تخصيب التربة كما توجد كذلك في مياه الصرف الصحي حيث أنها من مكونات المنظفات الصناعية ، وكذلك توجد في البول .

س – **المركبات الفينولية :** (Phenolic Compounds) المركبات الفينولية تؤثر على صلاحية مياه الشرب واستساغتها ، معظم الفينولات ليست شديدة السمية ولكن تحدث مذاق ورائحة غير مقبولين وخاصة نتيجة اتحادها مع الكلور عند تطهير مياه الشرب بالكلور .

يمكن أن تسبب آثار قليلة جدا من مركبات الفينول هذا الأثر الغير مقبول . ولذلك نصت دلائل منظمة الصحة العالمية على أن يكون أقل تركيز لمركبات الفينول في مياه الشرب لا يزيد عن ٠,٠٠١ مليجرام / لتر .

ص – المنظفات الصناعية الآن أيونية : (Anionic Surfactant Detergents)

المنظفات الصناعية لها درجة سمية صغيرة ولكنها مسببة لحدوث الرغاوي كما أنها تعيق عمليات الترغيب والترويب عند معالجة مياه الشرب من المجاري السطحية العزبة . كما أنها تزيل الأكسجين من سطح المياه الطبيعية . وهي تشمل مادة (Alkyl Benzene Sulphonate – ABS) والتي يمكن الكشف عنها معمليا بالتحليل الضوئي (Colorimetric) . المنظفات الصناعية الآن ايونية لها تأثير كبير على كفاءة المبادل الأيوني .

ع – حامض الهيوميك : (Humic Acid)

توجد نتيجة تحلل المواد العضوية من الأصل النباتي أو الحيواني . حامض الهيوميك وحامض الفولفيك تطفو على سطح الماء مسببة انعكاس للضوء . يقوم بدور هام في تكنولوجيا التبادل الأيوني والمعالجة المسبقة .

ن – الغازات المذابة :

المياه الطبيعية تحتوى على غازات مذابة نظرا لأن معظم الغازات تذوب بدرجة ما في الماء فان غازات الهواء الجوي يمكن أن توجد بتركيزات مختلفة في المياه السطحية (أقصى تركيز للأكسجين المذاب في الماء هو حوالي ٩,٥ جزء في المليون) . أحيانا يوجد الأمونيا ، كبريتيد الهيدروجين والميثان وذلك عند تعرض المياه للحالة اللاهوائية مع وجود أداء للبكتريا اللاهوائية . عندئذ يتم تهويتها ليذوب فيها أكسجين الهواء الجوي قبل الاستخدام ولطرد الغازات المذابة الأخرى المنفرة . من وجهة نظر نقاء الماء فان أهم الغازات هما غاز الأكسجين وغاز ثاني أكسيد الكربون .

غاز الأكسجين :

يعتبر وجود غاز الأكسجين المذاب في الماء من مسببات عدوانية الماء وتآكل المعادن الملاصقة لهذا الماء . ولكن في حالة عدم توافر الأكسجين فان ذلك يؤدي إلى توالد انبعاث غازات أخرى مسببة للرائحة والمذاق الغير مقبول مثل كبريتيد الهيدروجين والميثان والأمونيا . الأكسجين أساسي لحياة كل الكائنات

الحية في المياه الطبيعية .

ثاني أكسيد الكربون :

في الشكل الحر يوجد ثاني أكسيد الكربون في معظم إمدادات المياه الطبيعية ولكن في بعض المياه الجوفية يختلف المحتوى ما بين الصفر إلى التركيز العالى ، حيث عند انخفاض الضغط يتحرر الغاز في شكل فقاعات . يمكن خفضه بخفض الرقم الهيدروجيني أو بعملية إزالة الغازات في أبراج التهوية (Degassifying) ، كما ان التتبادل الأيوني يمكن من إزالة ثاني أكسيد الكربون .

١٢ - معايير التلوث العضوي والبيولوجي :

يعتبر النشاط الآدمي وكذلك زيادة الأنشطة التنموية والصناعية من أسباب زيادة تلوث المياه الطبيعية بالمواد العضوية . وجود المواد العضوية يقاس الأكسجين الحيوي المستهلك للملوثات (BOD) .

أ - الأكسجين الحيوي المستهلك : (BOD) (Biological Oxygen Demand)

الأكسجين الحيوي للمستهلك هو اختبار لتعيين الأحمال العضوية في الماء والقابلة التحلل البيولوجي بفعل البكتريا الهوائية . في هذا الاختبار يتم تعيين كمية الأكسجين التي تمتصها عينة الماء .

ب - الأكسجين الكيماوي المستهلك : (COD – Chemicol Oxygen Demand)

الأكسجين الكيماوى المستهلك هو معيار يمكن قياسه بسرعة لتعيين حالة التلوث بالمواد العضوية التي تتأكسد بيولوجيا بفعل الهواء الجوى وكذلك تلك المواد العضوية الغير قابلة للأكسدة والتحلل البيولوجي بفعل الهواء الجوى .. حيث يمكن تعيين الأكسجين المكافئ لهذه المواد العضوية الموجودة في العينة والتي تتأكسد بواسطة مؤكسد قوي كيماوي مثل برمنجنات البوتاسيوم أو داي كرومات البوتاسيوم .

جـ - المعايير البيولوجية : (Bacteriological Parameters)

تعتبر البكتريا من صنف النباتات وهي غذاء للكائنات الأكبر ولكنها صغيرة وميكروسكوبية ، وكذلك حيوانية موجودة في المياه الطبيعية . الثلاث أنواع

الرئيسية للبكتريا هي :

- الباسيلا أسطوانية الشكل (Bacilli , Cylendri cally shaped)
- اسبيريليم حلزونية الشكل (Spirillum , Spirally shaped)
- كوكي – كروية الشكل (Cocci , Spherically shaped)

أهم كائن حي صغير بكتيري والذي يستخدم عادة كمؤشر للتلوث الغائطي (Faecal Pollution) أو للتلوث بمياه الصرف الصحي هي مجموعة بكتريا الايشير كولاي ومجموعة الكوليفورم (Escherichiacoli , Coliformgroub) .

الكوليفورم عبارة عن كائنات حية صغيرة ذات شكل أسطواني أو عصوي وهي قادرة على النمو في وجود ملح الصفراء (bilesalt) وكذلك على تخمر الجلوكوز والفركتوز منتجة حامض وغاز . وهذه الخاصية الأخيرة التي تميزها عن بعض أنواع البكتريا الأخرى ذات نفس الشكل المشابه مثل البكتريا الممرضة والمسببة للتيفود والباراتيفود والدسنتاريا .. الخ .

نظرا لأن الكوليفورم لا يعتبر من الكائنات الحية الدقيقة المسببة للأمراض والتي قد تكون موجودة في الغائط أو مخلفات الصرف الصحي . ولذلك يعتبر عدم وجود بكتريا الكوليفورم هو دلالة لعدم وجود الأنواع الأخرى من البكتريا الممرضة حيث أنه أكثر مقاومة عن هذه الأنواع الممرضة .

أنواع أخرى من البكتريا المستخدمة كمؤشر لوجود التلوث الغائطي مثل بكتريا الاستربتوكوكاي الغائطية (Faecal strepto cocci) وبكتريا كلوست ريديوم ويلكي (Chlostridium Welchii) ، وهذا النوع الأخير هو لاهوائي والذي يعيش لمدة أطول نسبة إلى الكوليفورم ، ولذلك في حالة عدم وجود الكوليفورم أحيانا يحتمل حدوث التلوث . بكتريا الغائضية يمكن أن تعيش عند درجة حرارة ٤٥° م ، وجود بكتريا الغائطية من النوع Streptococci هو تأكيد لوجود الطبيعة الغائطية للتلوث حتى في حالة عدم وجود بكتريا الكوليفورم الغائطية (Faecal Coliforms) .

معدل أخذ العينات والمعايير النوعية المطلوبة يتوقف على الاستخدام النهائي للمياه . تتم التحاليل بالإمكانيات المعملية . يتم تقييم التحاليل بمعدل كثافة الكوليفورم

في ١٠٠ سم^3 مياه ، حيث يعبر عن الكثافة كـأقصى عـدد محتمـل (Mostprobable Number) أو (MPN Index) . بالنسبة لمياه الشرب فان العدد أكبر من ١٠ يعتبر غـير مقبول . أي عينة لها رقم من ١ إلى ١٠ يعتبر مشكوك فيها بمـا يتطلـب مباحث إضافية.

وجود البكتريا في المياه الطبيعية والتي يلزم معالجتها للاستخدام كمياه للشرب له تأثير إضافى والذي يعتبر ذو أهمية هامة . وذلك حيث أن البكتريا بعـد قتلـها أو إزالتها بالطرق المناسبة ، فان نواتج التحلل لهذه البكتريا والتي تعرف بالمادة المسـببة للحمى وارتفاع درجة الحرارة (Pyrogens) ، يمكن أن تظل موجودة في مياه الشرب . وجود هذه المادة المسببة للحمى (البيروجين) عادة ليـس لـه تـأثير كبـير بالنسـبة لاستخدامات مياه الشرب النقية مع استثناء واحد هام . وهو أن الميـاه البيروجينيـة (Pyrogenic Water) المسببة للحمى في حالة اسـتخدام كمخفـف للمحـاليل المعويـة (Parenteral solutions) في عمليات الحقن للعلاج فإنها تسبب ارتفاع في درجة حـرارة الإنسان والحيوان .

١٣ - المعايير الإشعاعية :

المواد المشعة تمثل زيادة في الخطورة ، حيث تزداد خطورة المياه في حالـة تلوثها بالمواد المشعة وسيتم تعيين قيم الجرعات المقبولة والجرعـات الخطـرة فـي الفصول التالية .

١٤ - تعاريف نوعية المياه : (Water Quality Definitions)

أ - التوصيل الكهربي : (Conductivity)

التوصيل الكهربي هو قياس كمي لقدرة المياه على تمرير التيار الكهربي . تتوقـف هذه القدرة على حركة الأيونات (الأملاح المذابة الحاملة لشحنة كهربية) فـي المـاء وعموما كلما زاد عدد الأيونات لنوع معين من الماء زادت قدرة المياه على التوصيـل الكهربي . بينما يكون من المسببات القليلة جدا للتوصيل الكهربي بسبب أيونات الميـاه نفسها إلا أن المياه عالية النقاء يكون التوصيل أساسا بسبب مختلف الملوثات المذابـة والمتأينة في الماء . لذلك فان التوصيل الكهربي يمكن استخدامه في قيـاس إجمـالى

المواد المذابة الصلبة في كثير من المياه . وذلك مع ملاحظة الآتي :

- أن معظم المواد العضوية لا تتأين في المحاليل المائية لذلك فان الملوثات العضوية لا يمكن قياسها بالتوصيل الكهربي .
- أنواع معينة من المواد الغير عضوية تختلف في درجة تأينها وبالتالي درجة توصيلها الكهربي .
- تختلف درجة التوصيل الكهربي باختلاف درجة الحرارة ، حيث يتم القياس عادة عند ٢٥° م .

ب - المقاومة الكهربية : (Resistivity)

تقاس المقاومة بوحدات الأوم X وحدة الطول . في حالة المياه ، كلما زاد نقاء الماء كلما قلت قدرتها على حمل التيار الكهربي وكلما زادت مقاومتها . وبذلك تكون المقاومة هي عكس التوصيل الكهربي .

جـ - وحدات القياس للتوصيل والمقاومة :

وحدات القياس للتوصيل الكهربي والمقاومة الكهربية في مجال المياه ، وخاصة بالنسبة للمياه عالية النقاء تكون ذات قيم توصيل كهربي منخفضة جدا وقيم مقاومة كهربية مرتفعة جدا . وحدات القياس للمقاومة الكهربية هي الأوم - ومقاومة المياه يعبر عنها بالميجا اوم - سنتيمتر حيث واحد ميجا أوم - سنتيمتر يساوي مليون أوم ($1M\Omega = 10^6\,\Omega$) . يعبر عن التوصيل الكهربي بالقيم العكسية لسيمنز على السنتيمتر ، وذلك رغم أن الوحدات المعلية المستخدمة عادة لقياسات الماء هي : الميكرو سيمنز/سم (MS / CM) . والأملاح الكلية المذابة بالجزء في المليون تكون الميكروسيمنز X ٠,٧ .

د. عسر المياه :

عسر المياه له علاقة أساسية في كثير من التطبيقات ذلك بسبب استعداد الميله العسر لتكوين ترسيبات وقشور (Scales) . من الناحية العملية يمكن تعريف العسر بأنه خاصية المياه المحتوية على تركيزات من أيونات الكالسيوم والمغنسيوم ،وذلك رغم أن أيونات أخرى في الماء مثل أيونات الحديد والمنجنيز يمكن أن تسبب العسر ولكن

نظرا لوجودها بتركيزات قليلة جدا في الماء فإنها لا تكون ذات قيمة بالنسبة لعسر الماء . لذلك فان العسر الكلي للماء يمثل إجمالى تركيزات أيونات الكالسيوم والمغنسيوم . عند الاستخدام الصناعي فان المياه ذات العسر المنخفض (أو المياه اليسر) وعند ارتفاع درجات الحرارة فان خاصية الإذابة للماء بسبب عدم حدوث ترسيبات يمكن أن تتسبب في حدوث التآكل .

- المياه الشديدة العسر هي المحتوية على أيونات العسر أكثر ١٨٠ مليجرام/لتر
- المياه العسر هي المحتوية على أيونات العسر من ١٢٠-١٨٠ مليجرام/لتر
- المياه متوسطة العسر هي المحتوية على أيونات العسر من ٦١-١٢٠ مليجرام/لتر
- المياه الغير عسر (اليسر) هي المحتوية على أيونات العسر أقل من ٦٠ مليجرام/لتر

العسر المؤقت والعسر المستديم :

يمكن ان يوجد الكالسيوم والمغنسيوم في الماء في شكل أملاح مختلفة ، عادة في شكل بيكربونات ، كربونات ، كبريتات ، كلوريدات . عند غليان الماء فان بيكربونات الكالسيوم والمغنسيوم تتحلل إلى الكربونات والتي لها إذابة منخفضة في الماء . لذلك فان معظم العسر الموجود بسبب الكالسيوم والمغنسيوم في شكل كربونات أو بيكربونات يمكن إزالته بالغليان .

العسر بسبب أملاح الكربونات أو البيكربونات يسمى عسر مؤقت أو عسر الكربونات وذلك حيث أنه يمكن إزالته بالغليان . الأملاح الأخرى المسببة للعسر مثل أملاح الكبريتات والكلوريدات للكالسيوم والمغنسيوم تسمى العسر المستديم أو العسر الغير كربونات وهذه الأملاح لا تتأثر بغليان الماء .

هـ - الرقم الهيدروجيني (PH-Value)

حالة الحموضة للماء يعبر عنها بتركيز أيونات الهيدروجين في الماء . ويعبر عن الرقم الهيدروجيني $PH = -\log (H^+)$ بتركيز أيون الهيدروجين . لذلك كلما زادت الحموضة زاد تركيز أيون الهيدروجين وانخفض الرقم الهيدروجيني (PH) . المياه

النقية تحتوى على أيونات الهيدروجين والايدروكسيد عند تركيزات ١٠ ^٧ جزئ/لتر . لذلك فإنها تكون ذات رقم هيدروجيني ٧ (PH = 7) . عند زيادة حموضة الماء فان الرقم الهيدروجيني يكون اقل من ٧ وكلما زادت قلوية الماء فان الرقم الهيدروجيني يكون اكثر من ٧ .

١٥ - الجداول الملحقة بالتمهيد :

- جدول (١) : الملوثات الموجودة عادة في المياه
- جدول (٢) : نوعية المياه لبعض الصناعات
- جدول (٣) : عمليات المعالجة المستخدمة لتنقية المياه ومعالجة مياه الصرف .

جدول (١) الملوثات الموجودة عادة في المياه :

أيونية ومذابة			غير ايونية وغير مذابة	غازات
كاتأيونية	آن أيونية			
كالسيوم	بيكربونات	قلوية	عكارة ، طمي	ثاني أكسيد الكربون
مغنسيوم	كربونات	قلوية	طفل ، ملوثات أخرى	نيتروجين
صوديوم	ايدروكسيد	قلوية	مواد عضوية	أكسجين
بوتاسيوم	كبريتات		لون	كبريتيد الهيدروجين
أمونيوم	كلوريد		كائنات حية دقيقة	أمونيا
حديد	نترات		طحالب	ميثان
منجنيز	فوسفات		بكتريا	
	سيليكا		زيت	
	فلوريد		أكاسيد وايدروكسيدات	
	مواد عضوية		معدنية	
	لون			

- المواد العضوية يمكن أن تكون عالقة أو مذابة أيونية أو غير أيونية .

جدول رقم (٢) نوعية المياه لبعض الصناعات (التقييم جزء في المليون)

الصناعة	المذاق والرائحة	العسر مقيم caco3	القلوية مقيمة caco3	الحديد	المنجنيز	الأكسجين المستهلك	الكلوريدات (كلور)	الأملاح المذابة	الرقم الهيدروجيني
المخبوزات	لا شيء	---	---	٠,٢	٠,٢	---	---	---	
المياه الغازية	لاشيء	٥٠	٥٠	٠,٢	٠,٢	١٠	--	٨٥٠	
التقطير ، الكحوليات	لاشيء	١	١	٠,٠٢	٠,٢	١	١	٢	٧
الطلاء الكهربائي	لاشيء	١	١	٠,١	٠,١	١	١	٢	٧
الصناعات الغذائية	لاشيء	٥٠-٢٥	٥٠-٢٥	٠,٢	٠,٢	١٠	---	٨٥٠-٥٠٠	٨-٧
الغسيل الجاف	منخفض	٦٠	٦٠	٠,١	٠,١	١	١٠	١٥٠	٨-٧
الصناعات الورقية	---	١٠٠	٧٥	٠,١	٠,١	٠,١-٠,٠٥	---	٣٠٠-٢٠٠	٧,٥-٦,٥
الصناعات الدوائية	لاشيء	---	---	صفر	صفر	صفر	٠,١	١	٧,٢-٦,٨
صناعة المنسوجات									
القطن	---	١٠	١٠٠-٧٥	٠,٠٥	٠,٠٥	---	---	٢٠٠	
الريون	---	١٠	٧٥	٠,٠٥	٠,٠٢	---	---	٢٠٠	
الصوف	---	صفر	٧٥	٠,١	٠,١	---	---	٢٠٠	
أنابيب التليفزيون	---	صفر	صفر	٠,٠٠٥	نحاس ٠,٠٠٥	٠,٥	صفر	المقاومة ١٠	٧
شبه الموصلات	---	صفر	صفر	٠,٠٠٥	نحاس ٠,٠٠٥	٠,١	صفر	١٨	٧

- المياه في الصناعات الغذائية يجب أن تكون مطابقة لمواصفات مياه الشرب
- المياه في الصناعات الدوائية يجب أن تكون خالية من جميع الكائنات الحية الدقيقة المسببة لارتفاع درجة حرارة الجسم
- المقاومة مقاسى بالمللي أوم

جدول (٣) عمليات المعالجة المستخدمة لتنقية المياه ومعالجة مياه الصرف :

عملية المعالجة	الاستخدام العام	المميزات	العيوب
*التروويب، الترسيب، الترشيح	خفض المواد الصلبة العالقة بنسبة ٩٠-٩٨%	انخفاض التكاليف سهولة في الاستخدام	تتطلب مساحة كبيرة ، لا تزيل الأملاح المذابة أو المواد العضوية المذابة
*إزالة / خفض العسر	خفض العسر بنسبة ٩٥-١٠٠%	منخفضة التكاليف نسبيا بالنسبة للمياه منخفضة العسر	تحتاج إلى التنشيط الكيماوي والذي يزداد مع زيادة العسر. لا تزيل المواد العضوية المذابة
*التبادل الأيوني Ion Exchange	خفض الأملاح المذابة بنسبة ٩٥-١٠٠%	يمكن تحقيق مستوى منخفض جدا من الملوحة	لا يزيل المواد العضوية المذابة يتطلب كيماويات للتنشيط
*المعالجة البيولوجية	خفض الحمل العضوي بنسبة ٥٠-٩٠%	منخفض التكاليف	يتعرض للتغيرات والخلل لا يزيل اكثر من ٩٠% من الحمل العضوي والذي يكون قابل للأكسدة البيولوجية
*الامصاص باستخدام الفحم النشط	خفض المواد العضوية القابلة للامصاص بنسبة ٩٥-١٠٠%	طريقة جيدة في إزالة كميات صغيرة من المواد العضوية	طريقة مكلفة نسبيا وذلك بالنسبة لتنشيط الفحم. يزيل مواد عضوية معينة فقط
*تبخير المياه Evaporation	إزالة المواد الصلبة المذابة والمواد الصلبة العالقة	يمكن استخدامها في كثير من التطبيقات	استهلاك كبير للطاقة



الفصل الأول

١

خطوات المعالجـة الأساسيـة للميـاه من المصادر العزبة لاستخدامها في الصناعة

خطوات المعالجة الأساسية للمياه من المصادر العزبة لاستخدمها في الصناعة

لاختيار طريقة معالجة المياه المناسبة من الناحية الاقتصادية والعملية ، فانه يجب معرفة الملوثات الموجودة في إمدادات المياه ، لمعرفة تأثير هذه الملوثات على عملية المعالجة مع اختيار الطريقة المناسبة لخفض أو إزالة هذه الملوثات .

توجد طرق كثيرة للمعالجة لإزالة أو خفض الملوثات طبقا لمصدر المياه الخام سواء كانت مياه عزبة من المجاري السطحية أو من الآبار أو من أي مصدر آخر ، حيث الملوثات توجد في أربعة أشكال رئيسية وهي مواد عالقة ، ومواد صلبة مذابة ، وغازات مذابة ، كائنات حية دقيقة . وهذه الملوثات هي التي تسبب اللون والمذاق والرائحة للمياه .

المعالجة قد تشمل واحد أو اكثر من العمليات الأساسية . هذه العمليات مع الكيماويات الأساسية هما أدوات المعالجة للمياه في الصناعة .

الترويب : Coagulation

الترويب هو عملية تحويل المواد الصلبة العالقة في المياه وكذلك اللون إلى زغبه (Floc) ذات حجم أكبر وكثافة أعلى . وهذه الزيادة في حجم المواد الصلبة العالقة تعمل على ترسيبها . وحيث كل استخدامات المياه تتطلب التخلص من المواد الصلبة العالقة واللون ، فان عملية الترويب هي الخطوة الأولى في تطبيقات المعالجة . تتوقف درجة الترويب على مدى التصاق الزغبات مع بعضها وتصادماتها والذي يتم أثناء الخلط بالكيماويات الخاصة بالترويب . المروبات هي الكيماويات التي تؤدي واحد او اكثر من الآتي :

- معادلة قوة التنافر حول الأجسام الصلبة العالقة حيث قوة التصادم تعمل على التصاق الجسيمات العالقة بمجرد الاصطدام .
- ترسيب زغبات هلامية مثل ايدروكسيدات المعادن ، وهذه الزغبات الهلامية تعمل

على جذب المواد العالقة الصلبة وكذلك المواد المسببة للون .

- عند استخدام البلمرات المستخدمة كمساعدات ترويب والتي تعمل على ترسيب الأجسام العالقة والتي لم ترسب بمواد الترويب الكيماوية هذا بالإضافة إلى أن هذه البلمرات تعمل على تقوية الزغبات المتكونة .

الكيماويات المستخدمة في الترويب :

اكثر المواد المستخدمة في الترويب هي مادة الشبه (كبريتات الألومنيوم) ، كبريتات الحديديك ، كبريتات الحديدوز . مواد الترويب هذه حامضية وتتفاعل مع القلوية الطبيعية أو المضافة للماء لانتاج كبريتات الكالسيوم والمغنسيوم أو الصوديوم وراسب جيلاتيني . وهذا الراسب المفترض انه أيدروكسيد الألومنيوم أو الحديد لكنه في الحقيقة مركب معقد .

معظم الأجسام الهلامية العالقة المسببة للعكارة واللون تحمل شحنة سالبة ، بينما يحمل الايدروكسيد المعدني المتكون شحنة موجبة . عند الترويب بأملاح الألومنيوم والحديد يحدث تعادل لشحنات الأجسام الأيونية بالإضافة إلى التشابك الميكانيكي .

لكل مروب يوجد أقصى مجال للرقم الهيدروجيني (PH) ، حيث يلزم ضبط الرقم الهيدروجيني إلى حد أقصى ترسيب للمروب والذي يماثل ادنى إزالة للزغبات (Flocs) ، افضل رقم هيدروجيني للترسيب لا يتوقف فقط على المروب ولكن كذلك على خواص المواد المعدنية المذابة في الماء . فمثلا مادة الشبه يكون أفضل ترويب لها عند رقم هيدروجيني حوالي ٥.٥ للمياه حيث المحتوى من الأملاح المذابة منخفض جدا . ولكن بالنسبة لمعظم المياه الطبيعية ، فان الرقم الهيدروجيني المثالي لمروب الشبه يكون أعلا حيث يتراوح ما بين ٥,٧ إلى ٧,٨ . ولكن مجال الترويب لأملاح الحديد عادة يكون للمياه ذات الرقم الهيدروجيني أعلا من ٨,٤ .

عند إضافة أملاح الحديد أو أملاح الألومنيوم للماء فان هذه الأملاح تعمل على خفض الرقم الهيدروجيني . لذلك يكون من الضروري زيادة الرقم الهيدروجيني إلى المستوى المناسب وذلك بإضافة قلوى مثل الجير الحي أو الجير المطفي(Lime – CAO)،

أو الصودا آش أو الصودا الكاوية .

درجة حرارة الماء تؤثر كذلك على عملية الترويب . عند درجة حرارة قريبـة من درجة التجمد قد يكون المطلوب زيادة زمن الخلط وكذلك زيادة جرعة المـروب .

عموما فان نجاح المروب يشمل ثلاث عوامل رئيسية :

- وجود أقل كمية من أيونات الألومنيوم أو الحديد لتكوين الزغبات الغير مذابة .
- وجود آن أيونات قوية مثل الكبريتات أو الكلوريد .
- ضبط الرقم الهيدروجيني خلال مجال محدد .

تحاليل المياه لا تمكن من تعيين أفضل مروب للاستخدام ، وكميات المـــروب المطلوبة أو الرقم الهيدروجينى المناسب لعملية الترويب .

لأفضل ترويب يكون من الضروري عمل اختبارات معملية باستخدام مروبات مختلفة عند مستويات مختلفة من الرقم الهيدروجيني . لتوحيد ظروف الاختبار يستخدم تجهيزات خلط معملية . الخبرة العملية لنوع معين من المياه تساعد في تعيين جرعـــة المروب والرقم الهيدروجيني المناسب . عند تغير خصائص المياه الخام يكـــون مـــن الضروري تغيير جرعة المروب والرقم الهيدروجيني المناسب .

الشبه : Alum – $Al_2(SO_4)_2$:

أكثر المروبات استخداما هو مروب الشبه (كبريتـــات الألومنيـــوم) . الشـــبه تتفاعل مع القلوية الطبيعية أو المضافة كالآتي :

$$Al_2(SO_4)_3 + 3Ca(HCO_3)_2 = 2Al(OH)_3 + 3CaSO_4 + 6CO_2 \quad (١)$$

$$Al_2(SO_4)_3 + 3Na_2Co_3 + H_2O = 2Al(OH)_3 + 3Na_2SO_4 + 3CO_2 \quad (٢)$$

$$Al_2(SO4)_3 + 3Ca(OH)_2 = 2Al(OH)_3 + 3CaSO_4 \quad (٣)$$

كبريتات الحديدوز : Ferrous Sulfate (Copperas) – $FeSO_4\ 7H_2O$

القلوية الطبيعية لمعظم المياه لا تكفي للتفاعل مع كبريتات الحديدوز لتكويـــن الزغبات المطلوبة من ايدروكسيد الحديديك . يضاف الجـــير المطفـــي (Lime) أو أي قلوي آخر لتوفير هذه النتيجة . التفاعل الأولي مع لبن الجير (Lime) ينتج ايدروكســـيد الحديدوز والذي يتأكسد بواسطة الأكسجين المذاب فـــي المـــاء ليتكـــون ايدروكســـيد

الحديديك . تحدث هذه فقط عند رقم هيدروجيني مرتفع حيث ان هذا المروب مناسب فقط في مجال رقم هيدروجيني اكبر من ٨,٤ . يمكن كذلك استخدام الكلور لأكسدة ايدروكسيد الحديدوز .

$$FeSo_4 + Ca\,(OH)_2 = Fe\,(OH)_2 + CaSO_4 \quad (٤)$$

$$4Fe\,(OH)_2 + H_2O = 4Fe\,(OH)_3 \quad (٥)$$

كبريتات الحديديك : Ferric Sulfate (Ferric – Floc) – $Fe_2\,(SO_4)_3$

كبريتات الحديديك تتفاعل كذلك مع القلوية وترسب ايدروكسيد الحديديك كما في حالة كبريتات الحديدوز . ولكن حيث أن الحديد يكون في حالة الحديديك فانه تصبح لا حاجة للأكسجين المذاب في للأكسدة .

$$Fe\,(So_4)_3 + 3Ca\,(HCo_3)_2 = 2Fe\,(OH)_3 + 3CaSo_4 + 6Co_2 \quad (٦)$$

$$Fe\,(So_4)_3 + 3Ca\,(OH)_2 = 2Fe\,(OH)_3 + 3CaSo_4 \quad (٧)$$

القلويات : Alkalies

عادة التغذية بالمروبات فقط غير كافية للترويب الجيد نظرا لأن الرقم الهيدروجيني يجب ضبطه عند أقصى قيمة مناسبة . معظم القلويات المستخدمة عادة لضبط (رفع) الرقم الهيدروجيني هي :

- ايدروكسيد الكالسيوم Ca (OH)2 ، والذي يسمى عادة الجير .
- كربونات الصوديوم (Na_2 Co3) ، والذي تسمى عادة الصودا آش .
- ايدروكسيد الصوديوم (NaOH) والتي يسمى عادة الصودا الكاوية .

الطفلة : Clays

المياه ذات العكارة المنخفضة يصعب ترويبها مقارنة بالمياه ذات العكارة المرتفعة . عند إضافة الطفلة للمياه الجاري معالجتها فان العكارة تزداد وينتج عن ذلك ترسيب أفضل للزغبات (Flocs) .

البولي اليكتروليت : Polyelectrolytes

البولي اليكتروليت عبارة عن بلمرات ذات وزن جزيئي عالي قابلة للذوبان في

الماء مقسمة إلى آن ايونية ، كاتأيونية ، غير أيونية . البلمرات التي تتحلل (dissociate) مكونة أيونات موجبة تسمى الكاتأيونية ، والبلمرات التي تتحلل مكونة شحنات سالبة تسمى آن أيونية أما البلمرات التي تتحلل مكونة شحنات موجبة وشحنات سالبة في الماء فهي تسمى بلمرات غير أيونية .

كما سبق توضيحه فان الرقم الهيدروجيني للماء هو عامل هام جدا . لذلك فان استخدام البولي اليكتروليت لا يعمل فقط على اتساع مجال الرقم الهيدروجيني الذي يحقق حدوث الترويب الجيد ولكنه يعمل كذلك على خفض كمية المروب اللازمة . استخدام البلمرات يفيد في العمل على توفير معدلات التدفق العالية خلال معدات المعالجة .

اختبار التقنية (Jar Test) هو الأداة الوحيدة لتعيين كلا من الجرعة وكذلك أكثر البلمرات تأثيرا في عملية الترويب . الجرعة العادية لبلمرات البولي اليكتروليت هي عادة أقل من واحد جزء في المليون .

جرعة المروبات (Coagulant Dosage) :

يمكن استخدام الآتي في تقدير متطلبات التغذية بالكيماويات ولكن هذا لا يمثل أقصى جرعة مطلوبة .

أ – لترويب المواد العالقة :

كبريتات الألومنيوم : يمكن حقن المروب بمعدل ٣٥ جزء في المليون مع القلوية الكافية لتوفير رقم هيدروجيني من ٦,٧ – ٧ . في حالة أن القلوية وثاني أكسيد الكربون الموجودين لدرجة أن إضافة ٣٥ جزء في المليون لا تعمل على خفض الرقم الهيدروجيني إلى ٥,٧ – ٧ أو أقل ، عندئذ يمكن استخدام كبريتات ألومنيوم إضافية . بالنسبة للمحطات الكبيرة حيث تكون إضافة مروب كبريتات الألومنيوم عالية ، عندئذ يكون المفضل من الناحية الاقتصادية خفض الرقم الهيدروجيني باستخدام حامض الكبريتيك .

كبريتات الحديديك : إضافة ٢٥ جزء في المليون (كايدروكسيد حديديك) مع القلوية الكافية لتوفير رقم هيدروجيني أكبر من ٩ .

كبريتات الحديدوز : إضافة ٥٠ جزء في المليون ككبريتات حديدوز مع القلوية الكافية لتوفير رقم هيدروجيني اكبر من ٩ . تستخدم عادة معدات التغذية بالكلور للأكسدة إلى ايدروكسيد الحديديك . تتوقف كمية الكلور اللازمة طبقا للمحتوى من الأكسجين ومطالب الكلور ودرجة الحرارة .

الطفلة Clay : عندما تكون عكارة المياه العكرة اقل من ١٠٠ مليجرام/لتر ، تكون جرعة الطفلة ٣٥ جزء في المليون .

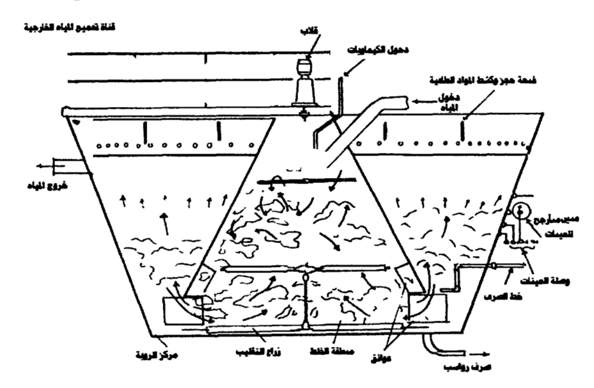
ب - لإزالة اللون :

المستخدم عادة كبريتات الألومنيوم ، حيث تضاف كمية كافية لخفض الرقم الهيدروجيني إلى ٥,٦ ، ولا تقل جرعة كبريتات الألومنيوم عن ٥٠ مليجرام/لتر . في حالة خفض الرقم الهيدروجيني إلى اقل من ٥,٦ عند استخدام الجرعة ٥٠ مليجرام في اللتر ، عندئذ يستخدم قلوي لرفع الرقم الهيدروجيني حتى ٥,٦ . لتحقيق أقصى إزالة للون يلزم توفير معدات حقن الكلور .

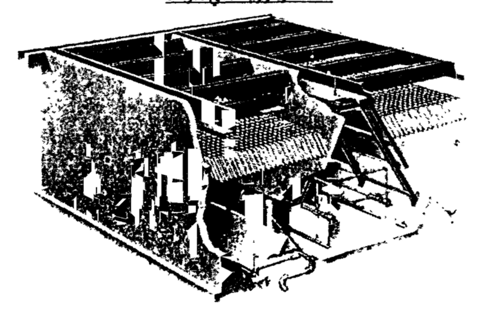
معدات الترويب :

المعدة المستخدمة على نطاق واسع للترويب والترويق هي وحدة التصاق المواد الصلبة (Solids – Contact – Type Unit) شكل (١/١) ، شكل (١/٢) تعمل هذه الوحدة بمبدأ تكوين بلورات (Crystallization) من محلول شديد التشبع (Supersaturated) والتفاعل الكفء في وجود نفس نوع الراسب .

المعدة مقسمة إلى منطقتين بواسطة حوائط حائلة مائلة (Sloping baffles) في أحد المناطق يحدث الخلط وفي الآخر يحدث انفصال الزغبات الروبة من الماء .



شكل (١/١) مقطع لوحدة التصاق المواد الصلبة يوضح الخلط الجيد للكيماويات مع المياه الداخلة والروبة التي تكونت



شكل (١/٢) لجهاز الترسيب بالأنابيب في المروق من النوع الأفقي

منطقة الخلط مجهزة بنظام للخلط والذي يعمل على التصـــاق خليـط المـــاء والكيماويات الداخل إلى المعدة مع المواد المرسبة والمروبة . هـــذا الخلـط وتدويـر الروبة يكون هادى بما يكفي لعدم تلف الروبة . بهذه الطريقة ، يمكن توفـــير حالـــة

الاتزان بسرعة . المواد الصلبة التي تتكون لا تنفصل مستقلة كحبيبات صغيرة ، ولكن الرواسب الجديدة ترسب على زغبات الروبة السابق وجودها .

تصمم منطقة الانفصال (Separation Zone) بحيث تكون سرعة الصعود لأعلى لخليط الماء وزغبات الروبة تنخفض حيث تصل إلى نقطة عندما تكون سرعة الصعود لم تعد تتحمل حبيبات زغبات الروبة . عند هذه النقطة يوجد خط محدد للفصل ما بين طبقة الروبة والمياه الرائقة التي تم ترشيحها (ترويقها) خلال طبقة الروبة الخاصة بها. زغبات الروبة التي تترك تعود وتتحد مع حبيبات أخرى حيث تنمو أكثر وأكـــثر ثـــم تسقط في الطبقة السابحة (blanket) بهذه الطريقة ، تسقط الحبيبات إلى منطقة التركـــيز (Concentrator) تمهيدا لصرفها في شكل روبة . يتم تركيز الروبة في منطقة خـــلال الوحدة لخفض الفقد في الماء . عندئذ يتم صرف المادة المركزة خـــلال دورة تحكـــم لمحافظة على ثبات الاتزان للمواد الصلبة في الوحدة . يتحدد هذا الاتزان طبقا لنـــوع الراسب ، معدل التدفق خلال الوحدة ودرجة حرارة الماء التي تؤثر علـــى اللزوجـــة وقابلية الطفو . المياه بعد تركها لطبقة الروبة السابحة تستمر في التدفق إلى أعلا إلـــى نظام التجميع . يتم تجميع المياه الرائقة من كل سطح الوحدة .

أن انتظام التوزيع والجمع ونظام العوائق الداخلية هو الذي يوفر لمعدة من هذا النوع الوصول إلى زمن المكث النظري الذي بني عليه التصميم .

النوع الآخر من معدات الترويق هي الترسيب بالأنابيب المائلة (Tube Settler) وذلك بهدف زيادة طاقة الترسيب لمعدات الترويق الموجودة ، وكذلك تطويـــر نظـــم التصميم للمعدات الجديدة . تعمل معدة الترسيب بالأنابيب على أساس حوض ترســـيب ضحل وزمن مكث قليل خلال هذا الحوض . فمثلا ، جسم يرسب بمعدل بوصة فـــي الدقيقة يتطلب ١٢٠ دقيقة للوصول إلى قاع المروق التقليدي بعمق ١٠ قدم . في حالـــة عمق الحوض ، بوصة فان الجسم سيحتاج فقط إلى دقيقتين للســـقوط علـــى القـــاع . توضع الأنابيب عادة في مصفوفة بميل حوالى ٦٠° . في هذه الحالة عند تدفق الميـــاه لأعلا خلال الأنبوبة ، فان الأجسام الصلبة ترسب بسرعة وتصرف باستمرار من قاع حوض الأنبوب . مروقات الأنابيب توفر معدل عالي اكثر من المروقات التقليدية لنفس

المساحة المستخدمة . الشكل (١/٢) يوضح إنشاءات الأنابيب في مروق أفقى تقليدي .

٢ - إزالة العسر بطريقة الجير الصودا على البارد : Cold Lime-Soda Softening

عملية إزالة العسر بطريقة الجير الصودا يتم بها ترسيب عسر الكالسيوم والمغنسيوم من الماء كيميائيا ، باستخدام الجير (لبن الجير – Ca (OH)) والصودا آش (Na_2CO_3) . قد تختلف الطريقة حسب مكونات المواد المذابة في الماء وطبقا لمتطلبات استخدام المياه .

في بعض الحالات ، يكون المطلوب هو فقط معالجة جزئية . فمثلا إمدادات المياه لأغراض الشرب والاستخدام المنزلي يتم عادة خفض عسرها إلى حوالي ٨٥ جزء في المليون من العسر الكلي . كثير من المياه المستخدمة في العمليات الصناعية تتطلب فقط خفض قلوية الكالسيوم إلى حوالي ٣٥ جزء في المليون . المياه الغازية تحتاج فقط إلى خفض القلوية الكلية الى ٥٠ جزء في المليون .

في حالات أخرى يكون المطلوب إزالة أكبر للعسر . عندئذ تتم المعالجة الكاملة حيث يتم الخفض ما أمكن لعسر الكالسيوم والمغنسيوم الموجود سواء كان في شكل عسر بيكربونات أو عسر غير كربونات (Non Carbnate Hardness) ، أو في شكل خليط من كليهما بدون استخدام كيماويات إضافية . في حالات أخرى قد تتم عملية إزالة العسر بالمعالجة بكيماويات إضافية لخفض العسر إلى درجة أقل من الناتجة عن المعالجة الكاملة .

كيماويات إزالة العسر :

المياه ذات أي مكونات كيماوية يمكن إزالة عسرها باستخدام الكيماويات الآتية :

المروبات : Coagulants

اكثر المروبات استخداما هو مروب كبريتات الألومنيوم [$Al_2\ (So_4)_3\ .\ 18H_2O$]

المروبات الأخرى التي يمكن استخدامها هي كبريتات الحديدوز ($FeSo_4\ .\ 7H_2O$) وكبريتات الحديديك [$Fe_2\ (So_4)_3$] .

الجير المطفي $Ca(OH)_2$ ويسمى كذلك لبن الجير :

يستخدم هذا المركب عادة بنسبة نقاء ٩٣% في عملية الصودا - الجير على البارد . في هذا النظام حيث يلزم توفر كميات ضخمة ، عندئذ يتم تحويل الجير الحي (Cao) إلى جير مطفي $Ca(OH)_2$ قبل الاستخدام كالآتي :

$$CaO + H_2O = Ca(OH)_2 \quad (8)$$

الصودا آش (Na_2CO_3) :

تستخدم الصودا آش حسب المواصفات العامة حيث المحتوى من (Na_2O) ٩٥% والذي يعادل لـ ٩٩,٢% صودا آش .

كلوريد الكالسيوم : $(CaCl_2)$

يستخدم في حالة المياه حيث القلوية تزيد عن العسر بدرجة كبيرة .

التفاعلات الكيميائية التي تحدث :

أي من تلك الكيماويات له دور معين بمجرد إضافته إلى الماء والخلط والتفاعل . الجرعة يجب حسابها بدقة من تحاليل المياه . لذلك فان التعرف على تحاليل المياه يعتبر هام .

يلزم معرفة أن أيون البيكربونات (HCO_3^-) يتفاعل ويرتبط أولا بالكالسيوم ثم ثانيا بالمغنسيوم . لذلك فمثلا ، عند إضافة الجير المطفي فانه يتفاعل أولا مع الكالسيوم ومع استمرار الإضافة للجير المطفي فانه يتفاعل مع المغنسيوم . عموما ، تحسب القلوية أولا على أساس ارتباطها بالكالسيوم وتسمى قلوية الكالسيوم (Calcuim Alkalinity) . في حالة زيادة القلوية (تركت ولم تتفاعل) فإنها تحسب كمرتبطة بالمغنسيوم وتسمى قلوية المغنسيوم (Magnesium Alkalinity) . في بعض أنواع المياه الطبيعية ، قد توجد زيادة في القلوية زيادة عن قلوية الكالسيوم والمغنسيوم. في مثل هذه الحالات فان كمية العسر الزيادة عن القلوية تسمى عسر الغير كربونات (Noncarbonate) أي العسر المرتبط بأيونات الكبريتات والكلوريدات .

الشكل (١/٣) يوضح تعريف للمصطلحات المستخدمة في وصف المكونات الكيماوية للماء .

العسر الكلي

عسر الكالسيوم — عسر المغنسيوم

جزء في المليون مقيم $CaCO_3$

Ca — Mg — Na

HCO_3 — SO_4 — CL

قلويه الكالسيوم — قلويه المغنسيوم — عسر العسر كربوناب

القلوية الكليه

احمالي الكاتايوناب والأنايوناب

العسر الكلي

Ca — Mg — Na

H C O_3 — SP_4 — Cl

قلوية المغنسيم — قلوية المغنسوم — قلوية الصوديوم

الملوبة الكليه

<u>شكل ١/٣ تعريف بالمصطلحات المستخدمة في وصف المكونات الكيماوية للماء</u>

الترويب : Coagulation

عند ترسيب العسر يكون في شكل جسيمات صغيرة جدا حيث يكون من الضروري استخدام المروب بجرعات صغيرة للحصول على الترويب والترسيب لهذه الأجسام الصغيرة .

نموذج للجرعات كالآتي :

الشبه (Alum) ٢٠ جزء في المليون

كبريتات حديدوز ٢٠ جزء في المليون

زغبات ايدروكسيد حديديك ١٠ جزء في المليون

بتفاعل المروبات مع القلوية الموجودة ، فانه يتكون راسب أو زغبات جيلاتينية خفيفة والتي تنمو في الحجم حتى تكبر بما يكفي لرسوبها . هذه الزغبات لها القدرة على جذب واصطياد الجسيمات من المواد العالقة وتعمل على فصلها طبيعيا من المياه . تفاعلات المروب هي نفسها مثل تلك التي تحدث بدلالة العكارة واللون .

الجير المطفي (Lime) :

الجير المطفي يتفاعل للترسيب الكيماوي لعسر الكربونات الموجود في الماء وانتاج كربونات الكالسيوم ($CaCO_3$) الغير مذابة وايدروكسيد المغنسيوم $Mg(OH)_2$. الجرعة المطلوبة تختلف طبقا لقلوية المياه . الجير المطفي سيتفاعل كذلك مع ثاني أكسيد الكربون (CO_2) الموجود في الماء وعندئذ مع أيون البيكربونات (HCO'_3) . يمكن حساب الكميات المطلوبة من معادلات التفاعل .

$$Co_2 + Ca(OH)_2 = CaCO_3 + H_2O \quad (٩)$$

$$Ca(Hco_3)_2 + Ca(OH)_2 = 2CaCO_3 + 2H_2O \quad (١٠)$$

$$Mg(Hco_3)_2 + 2Ca(OH)_2 = 2CaCO_3 + Mg(OH)_2 + 2H_2O \quad (١١)$$

يلاحظ أن الجير المطفي المطلوب لترسيب المغنسيوم ضعف المطلوب لترسيب الكالسيوم . بمجرد تحول كلا من ثاني أكسيد الكربون (CO_2) والبيكربونات (HCO'_3) الموجودين إلى كربونات الكالسيوم ($CaCO_3$) ، فإن أي جير مطفي إضافى سيسبب خفض في المحتوى من المواد الصلبة .

الصودا آش : (Soda Ash)

تتفاعل الصودا آش مع عسر الغير كربونات لإنتاج رواسب غير مذابة . مكافئ واحد من عسر الغير كربونات للكالسيوم يحتاج إلى مكافئ واحد من الصودا آش .

$$Ca\left\{\begin{matrix} So_4 \\ Cl_2 \end{matrix}\right. + Na_2CO_3 = CaCO_3 + Na_2\left\{\begin{matrix} So_4 \\ Cl_2 \end{matrix}\right. \quad (١٢)$$

مكافئ واحد من العسر الغير كربونات للمغنسيوم يحتاج إلى مكافئ واحد من الصودا

آش زائد مكافئ واحد من الجير المطفي .

$$Mg\,{}^{SO_4}_{Cl_2} + Na_2CO_3 + Ca(OH)_2 = Mg(OH)_2 + CaCO_3 + Na_2\,{}^{SO_4}_{Cl_2} \quad (١٣)$$

يلاحظ أنه في المعادلات السابقة لا يحدث خفض في المحتوى من المواد الصلبة بسبب إنتاج أملاح الصوديوم المذابة .

كلوريد الكالسيوم : $CaCl_2$

أحيانا تظهر الحاجة إلى كلوريد الكالسيوم لخفض القلوية إلى قيمة مطلوبة وذلك في الحالات الآتية :

١ – عندما تكون قلوية المغنسيوم زائدة بـ ١٥ جزء في المليون ، عسر المغنسيوم ناقص قلوية المغنسيوم أقل من ٤٠ جزء في المليون أو .

٢ – وجود قلوية الصوديوم (عموما المياه الطبيعية لا تحتوى على قلوية الصوديوم إلا في حالة وجود قلوية المغنسيوم) .

السبب في الحاجة إلى كلوريد الكالسيوم هو أن كربونات المغنسيوم ($MgCO_3$) أو الصودا آش (Na_2CO_3) يذوبا في الماء ولا يرسبا من الماء مع الجير المطفي أو الصودا آش . ولكنهم يتفاعلوا مع كلوريد الكالسيوم ($CaCl_2$) كالآتي :

$$MgCO_3 + CaCl_2 = MgCl_2 + CaCO_3 \quad (١٤)$$

$$Na_2CO_3 + CaCl_2 = 2NaCl + CaCO_3 \quad (١٥)$$

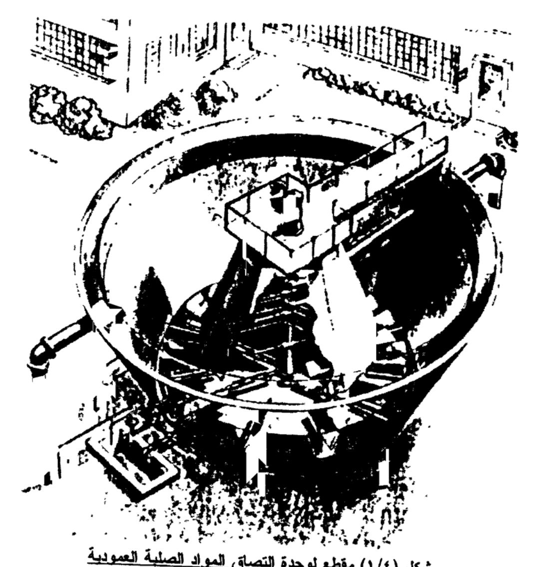
يلاحظ أنه عند خفض قلوية كربونات المغنسيوم ، لا يحدث خفض في العسر ، حيث أن كلوريد المغنسيوم ($CaCl_2$) الذي يتكون يحتاج إلى مكافئ إضافى من الصودا آش والجير المطفي (لبن الجير) . راجع تفاعلات الصودا آش .

المعدات المستخدمة :

المستخدم عادة في عملية الجير – الصودا على البارد هي وحدات من نوع التصاق المواد الصلبة وتدوير الروبة (Solids Contact and Sludge recirculation) .

وهذه تعمل على نفس مبدأ الأنواع المستخدمة في ترويب العكارة واللون . الفرق الهام بين تطبيقات الحالتين يقع على معدل التدفق . معظم الوحدات المنتجة تصمم على أساس أدنى زمن مكث ٦٠ دقيقة لتحقيق افضل معالجة . الشكل (١/٤)

يوضح نموذج للمعدة المستخدمة .



شكل (١/٤) مقطع لوحدة التصاق المواد الصلبة العمودية

٣ - التهوية وإزالة الغازات : Aeration And Degasification

التهوية أو إزالة الغازات عبارة عن عملية ميكانيكية لخلط الهواء والماء معا .

يتحقق من هذا الخلط هدفين وهما :

- إزالة الغازات المذابة مثل ثاني أكسيد الكربون واستبداله بالهواء وبذلك تحدث حالة اتزان ما بين الغازات المذابة في الماء وتلك الموجودة في الهواء الجوي .
- إذابة الهواء في الماء لإيجاد تفاعل كيماوي مثل أكسدة إذابة أملاح بيكروبونات

الحديد والمنجنيز المذابة إلى الايدروكسيد الغير مذاب .

الحالة الأولى تسمى (Degasification) والثانية تسمى (Aeration) .

نظرية إزالة الغازات : Degasification Theory

إزالة الغازات من الماء بالتهوية ينطبق عليها قانون هنري والذي ينص باختصار أن إذابة الغازات في الماء تتناسب طرديا مع ضغطها الجزئي في الهواء المحيط . عند ٢٠°م وعند مستوى سطح البحر يكون الماء في حالة اتزان مع الهواء الجوي المحيط يحتوى حوالي ١٥,٨ جزء في المليون نيتروجين ، ٩,٤ جزء في المليون أكسجين ، ٠,٥ جزء في المليون ثاني أكسيد الكربون ، وكمية لا تقاس من كبريتيد الهيدروجين .

كلا من ثاني أكسيد الكربون وكبريتيد الهيدروجين يذوبان في الماء نسبيا ، حيث أن عند ٢٠°م وعند مستوى سطح البحر يذوب ثاني أكسيد الكربون بنسبة حوالي ١٧٠٠ جزء في المليون ، بينما كبريتيد الهيدروجين يذوب بنسبة ٣٥٠٠ جزء في المليون . الضغط الجزئي لكل من هذه الغازات في الجو العادي هو عمليا صفر . وبالتالي فان إحداث حالة الاتزان بين الماء والهواء بالتهوية سينتج عنه تشبع الماء بالنيتروجين والأكسجين والإزالة الكاملة لكل من ثاني أكسيد الكربون وكبريتيد الهيدروجين من الماء . المتطلبات الأساسية لإزالة الغازات بالتهوية هو إيجاد حالة من الاتزان بين الغازات في الماء وتلك الموجودة في الهواء الجوي المحيط . إزالة الغازات بالتهوية تزداد بزيادة درجة الحرارة ، بزيادة زمن التهوية ، طبقا لزيادة حجم الهواء الملتصق بالماء ، وكذلك بالنسبة لزيادة مساحة سطح الماء المعرض للهواء .
تزداد كفاءة التهوية عندما يكون تركيز الغازات المطلوب إزالتها عالي في الماء ومنخفض في الهواء الجوي . فمثلا تزداد كفاءة التهوية للماء الذي يحتوى على ١٠٠ جزء في المليون ثاني أكسيد الكربون عنه في حالة احتواء الماء على ١٠ جزء في المليون فقط .

نظرية التهوية : Aeration Theory

عملية التهوية للمياه المحتوية على الحديد والمنجنيز هو إجراء تقليدي . بيكربونات الحديدوز مذابة في الماء وليس لها لون عندما تكون في المحلول ، بينما

ايدروكسيد الحديديك له إذابة ضعيفة جدا (أقل من ٠,١ جزء في المليون) . ولذلك عند أكسدة بيكربونات الحديدوز فان محتوى الماء من الحديد سيرسب كايدروكسيد حديديك. الأكسدة سريعة وتكتمل عند رقم هيدروجيني ٧ أو أعلا . عند رقم هيدروجيني أقل نسبيا فان الأكسدة تستمر بمعدل أبطأ بكثير . التفاعل كالآتي :

$$2Fe\,(HCO_3)_2 + H_2O + \tfrac{1}{2}\,O_2 = 2Fe\,(OH)_3 + 4Co_2 \qquad (١٦)$$

نظريا فان واحد جزء في المليون من الأكسجين المذاب سوف يؤكسد ٧ جزء في المليون من أملاح الحديدوز مقيمة كعنصر حديد (Fe) .

أكسدة بيكربونات المنجنيز والذي يوجد نادرا في الماء ، فهي تشبه أكسدة الحديد عدا أن الرقم الهيدروجيني (PH) يجب أن يكون أكبر من (١٠) .

التفاعل وكمية الأكسجين المطلوبة نظريا لتمام الأكسدة تكون هي نفسها ، ولكن الوقت اللازم لتمام الأكسدة يكون أطول . عندما يكون كلا من الحديد والمنجنيز مذاب في الماء ، فانه يكون من الضروري التهوية عند رقم هيدروجيني أعلا من عشرة . عند قيم اقل فان الحديد سيرسب ولكن المنجنيز سوف يظل مذاب في المحلول. إذا كان الرقم الهيدروجيني للماء ليس مرتفع بما فيه الكفاية فانه يمكن إضافة لبن الجير أو الصودا آش أو الصودا الكاوية لزيادة الرقم الهيدروجيني . في بعض الحالات عندما يكون الحديد فقط هو المطلوب إزالته ، فانه قد لا يكون من الضروري إضافة أي قلوي حيث أن التهوية تعمل على الخفض الجزئي لثاني أكسيد الكربون المذاب في الماء وبالتالي سوف يرتفع الرقم الهيدروجيني . ولكن عادة هذه الزيادة قد لا تكفي لإزالة الحديد عندئذ فانه يجب إضافة قلوي .

معدات التهوية : Equipment

نوع جهاز التهوية (Aerator) يتوقف على عدة عوامل :

- المحتوى من ثاني أكسيد الكربون .
- درجة الإزالة المطلوبة
- ما إذا كان المطلوب إزالته هو إزالة الحديد والمنجنيز أو كبريتيد الهيدروجين .
- حجم المياه التي يتم تداولها

المعدة المستخدمة عادة في التصميم هو برج التهوية من الألواح الخشبية أو المحتوى على ألواح خشبية حيث يعمل بسحب الهواء . نموذجا لجهاز إزالة الغازات بدفع (أو سحب) تيار الهواء في الشكل (١/٥) عبارة عن منشأ مستدير أو مربع يحتوى على عدة ألواح خشبية ذات فواصل غير متطابقة يدخل الماء من أعلا جهاز التهوية حيث يتم توزيع المياه على الألواح العليا وبالتالي تتدفق المياه على الألواح التالية من الفواصل . هذه الألواح الخشبية تكون في شكل صواني حيث الفواصل بين الألواح المكونة للصانية ، وحيث تكون هذه الفتحات غير متطابقة حيث عند سقوط المياه عند طرف الفاصل في أحد الصواني فانه يسقط في وسط الفاصل في الصانية التالية . في قاع جهاز التهوية تتدفق المياه المهواه خلال مخرج إلى حوض التجميع .
يتم الإمداد بالهواء من قاع جهاز التهوية بواسطة أجهزة سحب الهواء (Blower) والذي يدفع الهواء إلى أعلا في اتجاه معاكس للتدفق السفلي للمياه وبمعدل قدم مكعب من الهواء في الدقيقة لكل جالون في الدقيقة من تدفقات المياه .

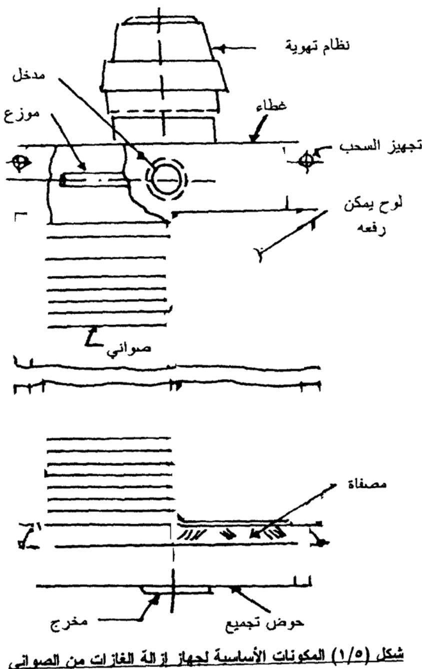
في الجزء العلوي من جهاز التهوية يتم صرف الهواء ومحتواه من الغاز المزال من الماء وذلك خلال عدد من العوائق إلى المنطقة فوق صانية التوزيع إلى مخرج الهواء إلى الجو الخارجي .

الكفاءة العالية لهذا النوع من أجهزة التهوية ترجع إلى التحكم في التدفق المعاكس للهواء والماء ، بالإضافة إلى أداء العدد الكبير من فواصل الصواني التي توفر أسطح لطبقات المياه وتنقيط المياه . معدلات التدفق التطبيقية لهذا النوع من تصميم جهاز إزالة الغازات مرتفعة حيث تصل إلى ٣٠-٤٠ جالون في الدقيقة / القدم المربع من مساحة المقطع لجهاز إزالة الغازات .

طبقا لارتفاع الجهاز وعدد الصواني المستخدمة يمكن خفض تركيز ثاني أكسيد الكربون المذاب في الماء إلى ٥ -١٠ جزء في المليون .
قلوية المياه ودرجة حرارة المياه وتركيزات الحديد وكبريتيد الهيدروجين هي عوامل هامة يجب أن تؤخذ في الاعتبار عند تصميم جهاز إزالة الغازات الخشبي :

الأبراج ذات الحشو بمواد زلطية : Packed Tower

الأبراج ذات الحشو بمواد زلطية أو بقطع البلاستك ذات كفاءة جيدة وتستخدم فقط لخفض ثاني أكسيد الكربون إلى مستوى منخفض جدا . وهى لا تستخدم في إزالة الحديد أو حيث يزيد الحديد في الماء عن ٠,٥ جزء في المليون ذلك لأن الحديد الغير مذاب يرسب على مواد الحشو ، بما يقلل من كفاءة الوحدة .



شكل (١/٥) المكونات الأساسية لجهاز إزالة الغازات من الصواني

إزالة الحديد والمنجنيز وكبريتيد الهيدروجين :

يوجد الحديد عموما في إمدادات المياه من المصادر السطحية والجوفية أما في شكل مركب عضوى معقد (في حالة المياه السطحية) أو في شكل أملاح الحديدوز ثنائية التكافؤ (في حالة المياه الجوفية) ، المنجنيز مع قليل من الاستثناءات يوجد في الشكل الثنائي التكافؤ (Manganous) . الأملاح ثنائية التكافؤ والمعقدة لكل من الحديد والمنجنيز قابلة للذوبان في الماء وأكثر هذه الأملاح إذابة هو ملح البيكربونات .

الحديد والمنجنيز هما مكونات كيماوية للحجر الرملي والمحار الموجود في التربة . عند توفر ظروف الاختزال ، فان أملاح الحديد والمنجنيز الغير مذاب تتحول من حالة عدم الإذابة والتكافؤ العالي إلى الحالة المذابة ذات التكافؤ الثنائي . يتم هذا في الطبيعة بتحلل المواد العضوية في التربة التي تستهلك الأكسجين ، وبزا توجد حالة اختزال وانطلاق ثاني أكسيد الكربون . مع حركة المياه خلال التربة فان ثاني أكسيد الكربون يذوب مكونا حامض الكربونيك . وبزا ينخفض الرقم الهيدروجيني والذي يزيد من ظروف الاختزال .

في حالة المياه التي تعرضت لهذه الظروف في التربة أسفل سطح الأرض وبعيدة عن الالتصاق بالهواء (كما في حالة مياه الآبار) ، فان كلا من الحديد والمنجنيز يظل مذاب في الماء . حتى في حالة ضخ الماء خارج البئر إلى نقطة المعالجة فان الحديد يكون راسب جيلاتيني وجزء من العكارة . تتكون المركبات العضوية المعقدة من الحديد والمنجنيز باتحاد أيونات الحديد والمنجنيز مع الوحدات العضوية سالبة الشحنة . هذه المركبات المعقدة يمكن رؤيتها حيث الحديد او المنجنيز في المنتصف محاط بالمواد العضوية . عموما هذه من الصعب أكسدتها مقارنة بالمركبات الغير عضوية بسبب طبقة الغلاف من المواد العضوية . هذه المركبات المعقدة من الحديد والمنجنيز توجد عادة في إمدادات المياه من المصادر السطحية .

كبريتيد الهيدروجين في إمدادات المياه يكون عادة بسبب تحلل المواد العضوية المحتوية على الكبريت بفعل البكتريا . وجود كبريتيد الهيدروجين في مصادر المياه الجوفية أكثر منه في المصادر السطحية نظرا لأن هذه البكتريا تعمل بكفاءة في عدم

وجود الأكسجين .

كبريتيد الهيدروجين شديد الذوبان في الماء وله مذاق خاص ورائحة منفرة .

في حالة الرقم الهيدروجيني المرتفع فان هذه الرائحة قد تكون غير حادة نظرا لأن معظم الكبريتيد قد يكون موجود في شكل كبريتيد القلوي اكثر من وجوده ككبريتيد الهيدروجين . البيان التالي يوضح قيم تقريبية لكبريتيد الهيدروجين نسبة إلى المحتوى الكلي من الكبريتيد .

نسبة المحتوى الكلي من الكبريتيد الموجود ككبريتيد الهيدروجين

الرقم الهيدروجيني (PH)	نسبة (H_2S)
٥	٩٨
٧	٣٣
٩	٠,٥

اختيار طريقة المعالجة للإزالة يتوقف على الحالة الأيونية للحديد والمنجنيز بدرجة كبيرة وتركيز كبريتيد الهيدروجين .

الحديد والمنجنيز الغير مذاب :

عندما يكون الحديد والمنجنيز في الحالة الغير مذابة فانه يكون ليس من الضروري الأكسدة . حيث يمكن إزالتهم بكفاءة بعملية ترويب بسيطة (في حالة عدم الحاجة إلى إزالة العسر في وحدة التصاق المواد الصلبة) يلي ذلك الترشيح .

في حالة استخدام طريقة الجير الصودا لإزالة العسر فان الحديد الغير مذاب سيتم إزالته طبيعيا في طبقة الروبة السابحة . كما انه يمكن كذلك الإزالة بالترشيح فقط في حالة المحتوى الغير مرتفع من الحديد الغير مذاب .

الحديد والمنجنيز المذاب :

الطرق الآتية يمكن استخدامها لإزالة الحديد والمنجنيز المذاب .

(١) الأكسدة بالهواء ، الهيبوكلوريت ، الكلور أو ثاني أكسيد الكلور ثم الترشيح

الأكسدة بالهواء تتم عادة باستخدام جهاز إزالة الغازات بالصواني الخشبية .

أملاح الهيبوكلوريت تستخدم في شكل ملح الصوديوم أو الكالسيوم والذي يتحلل إلى حامض الهيبوكلورس ، والذي هو مؤكسد أقوى من الأكسجين في الهواء . لذلك فان الحديد والمنجنيز المذاب يتم أكسدتهم تماما بسرعة اكبر . لهذه العملية حدود معينة نظرا لأن حامض الهيبوكلورس لا يؤكسد بكفاءة الحديد والمنجنيز المرتبط بالمواد العضوية في شكل مركبات معقدة . الكلور مثل أملاح الهيبوكلوريت حيث يلزم أولا أن يتفاعل مع الماء مكونا حامض الهيبوكلورس العامل المؤثر في الأكسدة . وبزا فانه يكون له حدود معينة مثل الهيبوكلوريت .

ثاني أكسيد الكلور (ClO_2) عامل مؤكسد قوى والذي يؤكسد بسرعة الحديد والمنجنيز المذاب ولكنه نادرا ما يستخدم لارتفاع تكلفة إنتاجه .

(٢) عملية إزالة العسر بالجير والجير – الصودا :

عند استخدام أي من الجير (Lime) أو الجير – الصودا فان الرقم الهيدروجيني للمياه المعالجة يرتفع بما يكفي لتنشيط تفاعل إزالة العسر ، حيث يرسب الحديد والمنجنيز كايدروكسيدات . أحيانا تتم التهوية قبل عملية إزالة العسر لتوفير الأكسجين المطلوب للأكسدة .

(٣) التبادل الأيوني : Ion Exchange

في أنواع معينة من المياه يستخدم مبادل الصوديوم لإزالة الحديد والمنجنيز المذاب . إزالة الحديد بالتبادل الكاتأيوني يشبه لإزالة الكالسيوم والمغنسيوم ويتزامن معه . ولتجنب الترسيبات (Fouling) في طبقة المبادل بالايدروكيسدات المرسبة ، يكون من الضروري وجود كلا من الحديد والمنجنيز في الحالة المذابة . يجب منع وصول والتصاق الهواء مع مبادل الصوديوم الكاتأيوني في كل الأوقات . يمكن كذلك إزالة بيكربونات وكربونات وكبريتات الحديد بمبادل الهيدروجين الكاتأيوني كجزء من نظام إزالة الملوحة (demineralizer) .

(٤) استخدام زيوليت المنجنيز – برمنجنات البوتاسيوم :

سيتم مناقشته بالتفصيل لاحقا .

الحديد والمنجنيز العضوي : Organic Iron and Manganese

يزال الحديد والمنجنيز العضوي بمروب الشبة ثم الترسيب والترشيح . استخدام زيوليت المنجنيز – برمنجنات البوتاسيوم يفيد كذلك في إزالة هذه المركبات . كما أن هذه الطريقة تفيد في إزالة الحديد والمنجنيز المذاب والغير مذاب والعضوي .

كبريتيد الهيدروجين Hydrogen Sulfide

لا يمكن تحقيق الخفض الكامل لكبريتيد الهيدروجين خلال التهوية فقط كما أن الكمية المزالة يصعب تقديرها . عند قيم رقم هيدروجيني مرتفع يكون المحتوى من الكبريتيد موجود غالبا ككبريتيد قلوي . ثاني أكسيد الكربون اقل إذابة من كبريتيد الهيدروجين ويزال بالتهوية بسرعة اكبر . مع إزالة ثاني أكسيد الكربون فان الرقم الهيدروجيني يرتفع والاتزان ما بين الكبريتات القلوية وكبريتيد الهيدروجين حيث التفاعل لا يعمل على إزالة كبريتيد الهيدروجين . يمكن التغلب على هذه المشكلة إلى حد ما بتغذية حامض للمحافظة على الرقم الهيدروجيني ما بين ٤ إلى ٥ لذلك ، فان كل كبريتيد الهيدروجين سيكون في الحالة الغازية حيث يمكن إزالته بعملية إزالة الغازات (Degasification) . امتصاص الماء للأكسجين أثناء التهوية يساعد في إزالة كبريتيد الهيدروجين بأكسدة جزء من الهيدروجين والكبريتيدات القلوية إلى الكبريت الحر . هذا التفاعل لا يعتمد على الرقم الهيدروجيني كما في حالة إزالة الغازات ، ولكن المطلوب هو زمن التصاق طويل بعد التهوية . عادة الأكسدة الهوائية فقط ليست مؤثرة مثل إزالة الغازات بخفض الرقم الهيدروجيني .

التهوية – الترسيب والتهوية مع خفض الرقم الهيدروجيني لا يمكن أن تحقق خفض لكبريتيد الهيدروجين إلى درجة الصفر . ولكن هذا يمكن تحقيقه بالكلوره فقط أو بالكلوره مع التهوية . تفاعل الكلوره كالآتي :

$$H_2S + Cl_2 = 2HCl + S \qquad (١٧)$$

في التفاعل السابق يتأكسد كبريتيد الهيدروجين إلى عنصر الكبريت . وهو عبارة عن راسب هلامي دقيق يمكن إزالته بالترويب و/أو الترشيح . نظريا ٢,١ جزء في المليون من الكلور لازم لكل واحد جزء في المليون من كبريتيد الهيدروجين . لذلك

فانه يكون مفضل من الناحية الاقتصادية إزالة معظم كبريتيد الهيدروجين بالتهوية واستخدام الكلور فقط في إزالة كبريتيد الهيدروجين المتبقي .

زيوليت المنجنيز – برمنجنات البوتاسيوم (Manganese Zeolite – Potassium Permanganate)

نظام التنشيط المرحلي : Regenerative Batch System

في هذا النظام يستخدم زيوليت المنجنيز لكل من الأكسدة وكذلك كوسط ترشيحي . يصنع زيوليت المنجنيز من زيوليت الرمل الأخضر المعالج (Green Sand Zeolite) حيث تتم المعالجة بطريقة تبادلية بكل من كبريتات المنجنيز وبرمنجنات البوتاسيوم ، الآتي شكل مبسط لتحضيره .

$$NaZ + Mn^{2+} = MnZ + 2Na^{+} \qquad (١٨)$$

(زيوليت الرمل الأخضر)

$$MnZ + KMnO_4 = ZMnO_2 + K^{+} \qquad (١٩)$$

هذا يوفر أكاسيد عالية للمنجنيز في وعلى حبيبات الرمل الأخضر . في عملية زيوليت المنجنيز ، لا يحدث إزالة العسر الماء ، حيث طبقة الترشيح هذه تؤكسد بيكربونات الحديدوز والمنجنيز إلى الاكاسيد عالية التكافؤ الغير مذابة وفي نفس الوقت يتم ترشيح هذه الاكاسيد خارج المياه .

هذا النظام يمكن كذلك أن يعمل مرتبطا بطرق أخرى لإزالة الحديد مثل التهوية . في هذه الحالة فان زيوليت المنجنيز يؤكسد فقط الحديد المتبقى والمنجنيز .

تفاعل الأكسدة كالآتي :

$$ZMnO_2 + \begin{matrix} Fe^{2+} \\ Mn^{2+} \end{matrix} = ZMn_2O_3 + \begin{matrix} Fe^{2+} \\ Mn^{2+} \end{matrix} \qquad (٢٠)$$

طاقة زيوليت المنجنيز حوالي ٠,٠٩ رطل حديد أو منجنيز لكل قدم مكعب من المادة . بمجرد استهلاك طبقة الأكسدة ، يحدث تسرب للحديد والمنجنيز المذاب . ولمنع هذا ، يتم تنشيط طبقة زيوليت المنجنيز باستخدام برمنجنات البوتاسيوم عند فترات محددة مسبقا . وهذه تتم بمعالجة الطبقة باستخدام ½ % محلول برمنجنات البوتاسيوم لعدة ساعات ، الكمية العادية المطلوبة هي ٠,١٥ – ٠,٢ رطل من البرمنجنات لكل قدم المكعب من زيوليت المنجنيز .

$ZMn_2O_3 + KMnO_4 = ZMnO_2$

زيوليت المنجنيز المستنفذ — زيوليت المنجنيز المنشط

بالإضافة إلى التنشيط فانه يتم غسيل طبقة الزوليت (بطريقة الغسيل العكس) على فترات عندما تتراكم الرواسب في الطبقة مكونة فقد في الضغط ٧ إلى ٩ رطل على البوصة المربعة .

من الناحية العملية القياسية ، فان استخدام زيوليت المنجنيز في معالجة التدفقات الكبيرة يكون محدد بالنسبة للمياه ذات المحتوى من الحديد أو المنجنيز لا يزيد تركيزه عن واحد جزء في المليون . ولكن عند التدفقات المنخفضة يمكن معالجة المياه المحتوية على كميات أعلا من الحديد والمنجنيز . وبالعكس المستويات المنخفضة من الحديد والمنجنيز توفر معدلات عالية إلى درجة ما .

السبب في حدود واحد جزء في المليون هو :

١ – برمنجنات البوتاسيوم مكلفة وليست اقتصادية عند التدفقات العالية وتركيزات الحديد / المنجنيز . بجانب فانه مطلوب بعض الزيادة من برمنجنات البوتاسيوم للتنشيط والذي بالتالي يتم صرفه .

٢ – يجب خفض معدلات التدفق لتحقيق إزالة جيدة للمياه المحتوية ذات المحتوى اكثر من واحد جزء في المليون من تركيزات الحديد أو المنجنيز هذا كذلك يزيد من تكاليف التشغيل .

٣ – لقد أظهرت الخبرة أن طبقة الزيوليت يحدث لها انسداد سريع عند المحتوى العالي من الحديد ، وهذا يعيق كفاءة النتائج . رغم أن عملية زيوليت المنجنيز المرحلية مازالت مستخدمة حتى الآن ، إلا أنها استبدلت بنظام التغذية المستمر بالبرمنجنات.

نظام التغذية المستمر بالبرمنجنات : Continuous Permanganate Feed

تستخدم طبقة من زيوليت المنجنيز في نظام التغذية المستمر بالبرمنجنات كما في حالة عملية التنشيط المرحلي . ولكن بدلا من تنشيط الطبقة فانه يتم التغذية

المستمرة بالبرمنجنات في الخط (In-Line) فوق التيار لوحدة زيوليت المنجنيز . بهذه الطريقة فان الحديد ، المنجنيز ، كبريتيد الهيدروجين في الماء يتم أكسدتهم إلى الحالة الغير مذابة قبل الوصول إلى طبقة زيوليت المنجنيز .

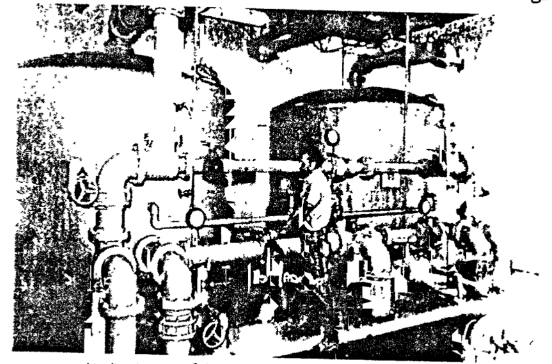
لذلك فان الطبقة تعمل أساسا كوسط ترشيحي . عند تراكم رواسب الحديد والمنجنيز فانه يتم الغسيل العكسي للوحدة كما في حالة المرشح العادي . في الغسيل العكسي يفضل استخدام مياه معالجة ومرشحة نظرا لأن المياه الخام المحتوية على الحديد والمنجنيز سوف ترسب حبيبات تعمل على انسداد نظام الصرف السفلي .

بالإضافة إلى أدائها الرئيسي كوسط ترشيحي فان زيوليت المنجنيز يعمل كعامل درئ (Buffer) . فهو يؤكسد أي حديد أو منجنيز متبقى مذاب عندما تكون جرعة البرمنجنات منخفضة قليلا ، كما يزيل أي برمنجنات زيادة لم تتفاعل بالتنشيط الجزئي لطبقة زيوليت المنجنيز عند زيادة الجرعة .

طريقة التدفق المستمر لها مميزات كثيرة نسبة إلى نظام التنشيط المرحلي ، أولا حيث أن الزيوليت يعمل كمرشح بدلا من مجال مؤكسد ، فان الدورات تكون أطول لأن طاقة الأكسدة للطبقة قد تستهلك قبل زيادة الفقد في الضغط . نظرا لأن الطبقة لا يتم تنشيطها ولكن يتم غسيلها بطريقة متقطعة فان زمن التوقف يكون قليلا . أخيرا برمنجنات البوتاسيوم لها جهد أكسدة عالي أكثر من (MnO_4) العامل المؤكسد في مرشح زيوليت المنجنيز المنشط التقليدي . لذلك ، فان الحديد العضوي ، بعض الروائح والطعم ، والمنجنيز يمكن معالجتهم بطريقة جيدة عند قيم رقم هيدروجيني منخفضة . وهذه عادة يصعب تداولها في النظام التقليدي .

المعدات :

المستخدم عادة هو مرشح الضغط التقليدي حيث الطبقة بسمك ٦ بوصة . وطبقة فحم الأنثراثيت فوقها بسمك ١٨ بوصة لزيوليت المنجنيز ، رغم أن مرشحات الجاذبية الآلية استخدمت شكل (١/٦)



شكل (١/٦) نظام زيوليت المنجنيز باستخدام التغذية ببرمنجنات البوتاسيوم

زمن التفاعل :

تحتاج برمنجنات البوتاسيوم إلى ٢٠ - ٦٠ ثانية فقط بعد دخول المياه إلى المرشح لاتمام الأكسدة . كقاعدة ، يتم التغذية ببرمنجنات البوتاسيوم حوالي ٢٠ قدم فوق التيار لطبقة الزيوليت كمحلول ١-٢% . الحديد والمنجنيز المذاب وكبريتيد الهيدروجين تتم أكسدتهم بسرعة إلى الحالة الغير مذابة وأولا يتم الترشيح في طبقة الأنثراثيت . يتأثر التفاعل بالرقم الهيدروجينى للماء وخاصة في حالة إزالة المنجنيز . لهذا السبب ، حيثما كانت المياه الجاري معالجتها ذات رقم هيدروجيني منخفض ، يكون مطلوب عموما تغذية قلوى مع برمنجنات البوتاسيوم لرفع الرقم الهيدروجيني إلى حد ما في تفاعلاتها ، لذلك قد لا يكون هناك ضرورة لاستخدام القلوي ، وبالمثل توجد ظروف أخرى حيث يلزم توفير رقم هيدروجيني مختلف .

التشغيل والتحكم :

عند بدء تشغيل الوحدة ، فانه يتم تشغيلها لمدة حوالي ١٠ ساعات بدون إضافة برمنجنات البوتاسيوم فوق التيار . هذا ضروري للاستنفاذ الجزئي لزيوليت المنجنيز والذي عادة يتم توريده تام التنشيط .

ضبط جرعة برمنجنات البوتاسيوم سهلة ويتم تداولها بالنظر . عند إضافة برمنجنات البوتاسيوم للماء الذي يحتوى على حديد ومنجنيز مذاب ، تتكون رواسب ويظل الماء بدون لون حتى تمام أكسدة كل الحديد والمنجنيز . عند هذه النقطة أي زيادة في برمنجنات البوتاسيوم تسبب لون قرمزي للماء نظرا لعدم وجود عوامل تفاعل . عند إضافة زيادة تزداد شدة اللون .

يلزم عينتين لتعيين الجرعة الصحيحة . أحد العينات تؤخذ عند الصنبور عند مدخل الوحدة (العينة رقم ١) عينة أخرى تؤخذ مباشرة من فوق طبقة زيوليت المنجنيز مباشرة (عينة رقم ٢) .

مقارنة اللون الآتية تستخدم عادة :

أ - العينة رقم (١) : العينة المأخوذة من الخط قبل دخول المياه للوحدة يكون لونها قرمزي .

ب - العينة رقم (٢) : العينة المأخوذة من أعلى طبقة الترشيح مباشرة تكون ما بين عديمة اللون وذات لون قرمزي باهت .

جـ - المياه الخارجة من الوحدة تكون عديمة اللون في كل الأوقات .

إذا كان معدل التغذية بالبرمنجنات منخفض جدا ، فان العينة من خط الدخول تكون ذات لون قرمزي شاحب أو لا لون لها . العينة فوق طبقة الترشيح تكون لا لون لها كذلك .

في حالة معدل التغذية ببرمنجنات البوتاسيوم مرتفع جدا فانه يلاحظ اللون القرمزي الغامق في كل من عينة المياه الداخلة في المياه المأخوذة من فوق الطبقة المباشرة .

إذا كان معدل التغذية غير صحيح ، فانه قد لا يتم ملاحظة النتائج في الحال . ولكن الجرعة العالية (اكثر من المطلوب) من برمنجنات البوتاسيوم لمدة طويلة ستسبب استنفاذ للطبقة وبالتالي تسرب للحديد والمنجنيز مع المياه الخارجة من الوحدة.

نتائج التشغيل :

نتائج التشغيل عموما جيدة ومعظم التصميمات تخفض الحديد والمنجنيز إلى

٠,٣ جزء في المليون . كبريتيد الهيدروجين سينخفض إلى اقل من ٠,٥ جزء في المليون في حالة المياه الخام لا تحتوى على أكثر من ١٠ جزء في المليون .

الاستخدام التقليدي لبرمنجنات البوتاسيوم هو حوالي ٢ جزء في المليون من برمنجنات البوتاسيوم لكل واحد جزء في المليون من الحديد والمنجنيز معا ، ٤ جزء في المليون من برمنجات البوتاسيوم لكل واحد جزء في المليون كبريتيد الهيدروجين .

٥ - الترشيح :

يستخدم الترشيح في معالجة المياه لإزالة أو خفض المواد الصلبة العالقة التي قد تكون موجودة أصلا في الماء أو التي تكونت نتيجة عملية الترويب أو الترسيب . فمثلا ، في إزالة العسر بطرقة الجير - الصودا ، يتم ترسيب أملاح الكالسيوم والمغنسيوم ثم التروبق النهائي بالترشيح قبل الاستخدام . عموما ، معظم عمليات معالجة المياه تشمل الترويب والترسيب والتي يليها الترشيح للإزالة الكاملة للمواد العالقة .

نظرية الترشيح :

عند الترسيب الذي يلي الترويب الكيماوي أو المعالجة لإزالة العسر ، حيث تزال الأجسام العالقة الثقيلة قبل الترشيح . الذي يصل المرشح هي الجسيمات الأصغر والأقل في الكثافة . عند بدء تشغيل المرشح الذي يعمل بالغسيل العكسي ، فان كثيرا من الحبيبات الصغيرة المروبة تخترق طبقة المرشح خلال كثير من المسام الموجودة في سطح المرشح . عند قيام هذه الحبيبات بالاحتجاز بين حبيبات الوسط الترشيحي ، فان التدفق يعاق . عندئذ تتراكم الحبيبات المروبة على سطح الوسط الترشيحي . مع استمرار الترشيح ، يزداد معدل الترشيح خلال الممرات التي لم يحدث بها انسداد وينخفض خلال الفراغات الصغيرة والتي حدث بها انسداد . مع اختراق التدفق للوسط الترشيحي ، تنتشر المياه إلى الخارج مع انخفاض السرعة حيث الأجسام المروبة المحتجزة عند نقطة السرعة المنخفضة .

اختراق الوسط الترشحي بواسطة الأجسام المروبة عادة لا يزيد عن اكثر من ٢ ٤ بوصة عمق . معظم الترشيح يحدث عند السطح أو في ١-٢ بوصة الأولى من

الوسط الترشيحي . هذه الشريحة المروبة تعمل كمرشح دقيق للأجسام الأصغر . انه من الضروري عند اختيار قطر حبيبات الوسط الترشيحي توفير الخشونة بما يمكن من اختراق البوصات العليا القليلة للوسط الترشيحي . عند عدم اختراق المادة المروبة للوسط الترشيحي فان الفقد في الضغط سيزداد بسرعة وتكون دورات الترشيح قصيرة. في محاولة لزيادة قدرة الحجز للوسط الترشيحي ، تم عمل تطوير خلال سنوات . أولها هو المرشح مزدوج الطبقات يتكون من ٦-١٢ بوصة من رمل السيليكا ، ١٢-٢٤ بوصة من فحم الانثراثيت فوق طبقة الرمال . هذا يوفر مرشح تخشين من الفحم فوق طبقة الرمال والتي تعمل كمرشح تلميع لتأكيد انخفاض العكارة . هذا النوع من المرشحات مزدوجة طبقة الترشيح يمكن أن يحقق نجاح في حالة انتظام التشغيل .

قريبا ، اصبح وسط الترشيح المزدوج محبب بسبب المقاومة لاختراق الأجسام بسبب الاضطراب والتغيرات في معدل التدفق . يتكون الوسط الترشيحي المختلط عادة من خليط من الرمال ، فحم الانثراثيت والعقيق (Garnet) لتوفير تدرج في المسام خلال الوسط الترشيحي . يظل الأنثراثيت في القمة بينما الحبيبات الصغيرة وذات الكثافة العالية من العقيق تظل عند القاع .

تدرج الوسط الترشيحي :

حجم الحبيبات الترشيحي هام حيث يوفر :

- الحجز للمواد العالقة بما يمكن من سهولة الغسيل .
- القدرة على حجز أكبر حجم من المواد العالقة بدون حدوث انسداد لتحقيق هذه العوامل يلزم تعيين القطر المؤثر (Effective Size) ومعامل التجانس (Uniformity Coefficient) . يتم تعيين هذه المعايير باستخدام تحليل المنخل للوسط الترشيحي . يتم توقيع النتائج (نسبة الحجز على كل منخل) مقابل فتحة المنخل بالمليمتر .

القطر المؤثر هو القطر الذي عنده ١٠% من الوسط الترشيحي بالوزن يكون أصغر و٩٠% يكون أكبر . بمعنى آخر هو الحجم الذي يحجز ٩٠% من العينة . لذلك فان القطر المؤثر هو أصغر قطر لمعظم الوسط الترشيحي . وان كان هذا لا يوضح التغير في جم الحبيبات لمعظم الوسط الترشيحي .

لتأكيد أن هذا التغير ليس كبيرا فانه يتم عمل القياس التالي . هذا القياس هو القطر الذي عنده ٦٠% أصغر و ٤٠% أكبر . هذا القطر يتم قسمته على القطر المؤثر حيث يكون الناتج هو معامل التجانس (Uniformity Coefficient) .

أنواع الوسط الترشيحي :

أساسا يوجد أربعة أنواع من مواد الوسط الترشيحي المستخدمة في معالجات المياه وهي رمل السيليكا ، فحم الأنثراثيت ، العقيق ، كربونات الكالسيوم المرسبة المسماة (Calcite) . الأكثر استخداما هو رمل السيليكا . القطر المؤثر يتراوح ما بين ٠,٤٥ إلى ٠,٦ مليمتر .

الأنثراثيت (الفحم النباتي) : يشبه الرمل بالنسبة للقطر المؤثر . يساعد على طول دورة الترشيح ، خفض مياه الغسيل العكسي المطلوبة ، بالإضافة إلى معدلات الترشيح العالية . بالإضافة إلى حبيبات الفحم الحادة والمحيطة توفر فراغات اكثر من الرمال ولذلك فانه لديه القدرة العالية على حجز الملوثات . القطر المؤثر ما بين ٠,٦٥ إلى ١ مليمتر ومعامل التجانس ١,٨٥ يستخدم فحم الأنثراثيت عموما في حالات حيث الرمال تفرز السيليكا عند زيادة درجة الحرارة أو عند زيادة القلوية .

الكالسيت : الكالسيت هو كربونات الكالسيوم ($CaCO_3$) المرسبة وهو يعادل جزء من المحتوى من ثاني أكسيد الكربون عندما يكون الرقم الهيدروجيني للماء اقل من ٦,٨ : في نفس الوقت فانه يعمل كوسط ترشيحي . وهو يعمل حسب التفاعل الآتي :

$$CaCO_3 + CO_2 + H_2O = Ca(HCO_3)_2 \qquad (٢٢)$$

تصل حالة الاتزان عند رقم هيدروجيني ٧ أو اكثر قليلا ، مع وجود بعض من ثاني أكسيد الكربون متبقى في الماء . يجب ملاحظة أن كربونات الكالسيوم المرسبة تستهلك في هذا التفاعل وبيكربونات الكالسيوم تذوب في الماء . يحدث الاستبدال عندما ينخفض سمك الوسط الترشيحي بنسبة ١٠% .

استخدام العقيق في الترشيح يعتبر حديث نسبيا وهو عادة يخلط مع الرمل

وفحم الانثراثيت لتتكون طبقة من وسط ترشيحي مختلط . مثال للوســـط الترشـــيحي المختلط حيث يتكون من ١٠% عقيق ، ٣٠% رمل ، ٦٠% فحم الانثراثيت .

معدات الترشيح :

أكثر أنواع المرشحات المستخدمة في التطبيقات الصناعية هما المرشح الـــذي يعمل بالضغط (Pressure Type) ، النوع الآخر هو المرشح الذي يعمل آليا بالجاذبيـــة (Automatic Gravity Type) .

مرشحات الضغط :

مرشح الضغط عبارة عن خزان أسطوانى مغلق من الصلب يحتوى على طبقة من الوسط الترشيحي المستدير فوق نظام تجميع عند القاع شكل (١/٧) .

من آن إلى آخر يتم تبديل التدفق حيث تجرى عملية الغسيل العكسي للتخلـص من الملوثات العالقة التي تتراكم في وخلال طبقة الترشيح . هذا الغسيل العكسي يتـــم مرة واحدة في الأسبوع على الأقل ، وكلما أمكن مرة كل يوم .

في أي من الحالات ، يتم الغسيل العكسي قبل ان يزيد الفقد في الضغط خـلال المرشح عن ٥ رطل على البوصة المربعة .

تستخدم مرشحات الضغط حيث يتم الإمداد بالمياه الخام أو المياه المروبة تحت الضغط . نظرا لأن المياه المرشحة من هذه المرشحات تكون كذلك تحت الضغـــط ، فانه يتم عدم الحاجة لضخ هذه المياه إلى نقطة التوزيع .

مرشحات الجاذبية التي تعمل آليا :

تصميمات هذا المرشح الآلي تؤدي كل عمليات دورات الترشـــيح والغســيل العكسي ، الشطف والعودة للتشغيل باستخدام محبس ذو ثلاث اتجاهـــات (Three Way Valve) وبعض تصميمات معينة بدون محابس شكل (١/٨) .

في المرشح بدون محابس تدخل المياه من المصدر بمنسوب ثابت لا يقل عــن ٢٥ قدم فوق المرشح إلى ماسورة المدخل إلى حيث الجزء العلوي من غرفة الوســـط الترشيحي حيث يتم الترشيح خلال الوسط الترشيحي إلى اسفل خلال المصـــافي إلـــى غرفة التجميع ، المياه المرشحة عندئذ ترتفع من الغرفة إلى أعلا خلال المخرج إلـــى

الخدمة . أثناء دورة الترشيح تتراكم ببطيء الزغبات على الوسط الترشيحي حيث تشكل ضغط عكسي والذي يسبب الارتفاع التدريجي للمياه في ماسورة الغسيل العكسي.

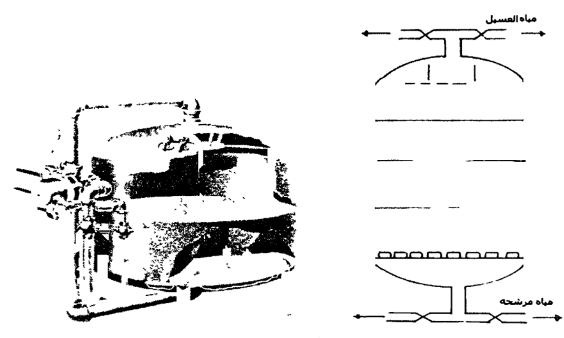
عند الوصول إلى مستوى معين لهذه الحالة ، عادة ٤-٥ قدم فوق منسوب مخرج المياه المرشحة ، عندئذ نظام التحضير الالي يبدأ في السحب السريع للهواء من ماسورة الغسيل وبدأ عمل السيفون الذي يقوم بغسيل المرشح .

حيث أن ماسورة الغسيل تحمل حوالى ٢٠-٢١ جالون في الدقيقة/القدم المربع من مساحة طبقة الترشيح وأن ٢-٣ جالون في الدقيقة/القدم المربع تتدفق خلال ماسورة الدخول ، يتم سحب الباقي من غرفة تخزين مياه الغسيل خلال مجارى إلى حوض التجميع ، ومن هنا إلى أعلا خلال طبقة الترشيح ، وبزا يتم غسيلها . لذلك فان الغسيل يبدأ بمعدل أعلا من نهايته بسبب خفض المنسوب في حوض مياه الغسيل . حيث يبدأ بمعدل ١٨ - ٢٠ جالون في الدقيقة /القدم المربع وينخفض إلى ٨-١٠ جالون في الدقيقة/القدم المربع ، بمعدل متوسط ١٣-١٥ جالون في الدقيقة/القدم المربع. وبذا يتم نظافة طبقة الترشيح وحمل المواد المتراكمة خلال منظم الغسيل العكسي إلى الصرف.

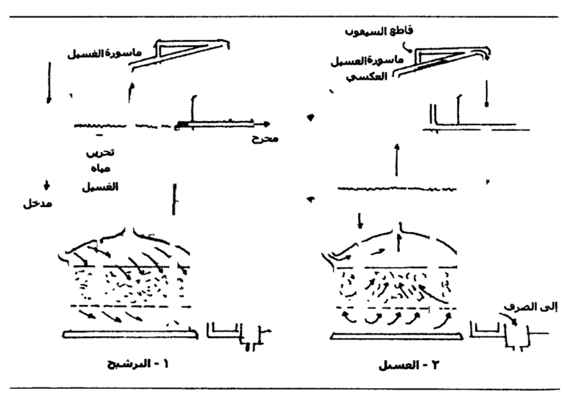
هذا المعدل المتناقص للغسيل يساعد كثيرا في التوزيع الهيدروليكي وثبات طبقة الترشيح .

عند وصول منسوب المياه في غرفة تخزين مياه الغسيل إلى قطع السيفون ، فان هذا يساعد على دخول الهواء لمواسير الغسيل ، وإيقاف السيفون ، وإيقاف عملية الغسيل العكسي .

في نهاية عملية الغسيل ، فان المياه القادمة من ماسورة الدخول ترشح خلال طبقة الترشيح ، وترتفع خلال المواسير من غرفة التجميع ، وتملأ غرفة مياه الغسيل بمياه مرشحة لعملية الغسيل التالية . عند امتلاء هذه الغرفة إلى مستوى مخرج المياه المرشحة ، عندئذ يتوقف تدفق المياه إلى الغرفة مع استمرار تدفقه خلال مخرج الميله المرشحة ، وبذا تعود وحدة الترشيح للعمل .



شكل (١/٧) مرشح الضغط



شكل (١/٨) عمل مرشح الجاذبية الذي يعمل آليا

مرشحات الفحم النشط : Activated Carbon Filters

يستخدم الفحم المنشط على نطاق واسع في التطبيقات الصناعية لإزالة المذاق والرائحة واللون من المياه وكذلك لإزالة الكلور . يستخدم الفحم المنشط الجيبي عموما في المعدات التي تشبه المرشحات التقليدية . عمق طبقة المرشح حوالي ٢-٣ قدم والمعدلات تتراوح من ٢ إلى ٦ جالون في الدقيقة/القدم المربع من مساحة مقطع طبقة الرشح . من الضروري غسيل الفحم المنشط من آن إلى آخر عند الوصول إلى فقد في الضغط محدد ومعلوم .

يستخدم الفحم النشط عادة عندما يكون تركيز المواد العضوية المسببة للمذاق والرائحة منخفض . رغم أن الفحم له قدرة محددة على امتصاص المواد العضوية ، إلا انه يمكن تنشيطه بالبخار لاستعادة جزء من طاقة امتصاصه .

نظرا لمحدودية طاقة الفحم يكون إزالة معظم المذاق والرائحة بالترويب الكيماوي يليه الترشيح باستخدام الفحم وذلك لخفض التكاليف .

إزالة الكلور المتبقي من إمدادات المياه بالفحم المنشط عبارة عن تفاعل كيماوي حيث يتحول الكلور إلى أيون الكلوريد ، وتستبدل طبقة الترشيح عادة كل ١- ٢ سنة .

الفصل الثانى



إزالة عسر المياه بالتبادل الأيوني

١ - إزالة العسر بالتبادل الأيوني : Ion Exchange Softening

إزالة العسر بالتبادل الأيوني هي عملية لا تتم بصورة مستمرة ولكن متقطعة أو على مراحل (Batch) وذلك لكل عمليات التبادل الأيوني . حيث الخزان المحتوى على طبقة من الراتنج بسمك ٣٠ بوصة المستخدم في إزالة العسر . عند تدفق المياه العسر إلى اسفل خلال الراتنج ، فان طبقات المبادل الأيوني تصطدم باستمرار بأيونات الكالسيوم والمغنسيوم والذي يقوم باستبدال الصوديوم على مركب الراتنج كما هو موضح في الجدول التالي :

عملية إزالة العسر (تفاعلات إزالة العسر)

$$\left.\begin{matrix} Mg \\ Ca \end{matrix}\right\} \left\{\begin{matrix} (HCO_3)_2 \\ SO_4 \\ CL_2 \end{matrix}\right. + Na_2Q = \left.\begin{matrix} Ca \\ Mg \end{matrix}\right\} Q + Na_2 \left\{\begin{matrix} (HCO_3)_2 \\ SO_4 \\ CL_2 \end{matrix}\right.$$

مذاب غير مذاب غير مذاب مذاب

تفاعلات التنشيط

$$\left.\begin{matrix} Ca \\ Mg \end{matrix}\right\} Q + 2\,Na\,cl = Na_2\,Q \quad \left.\begin{matrix} Ca \\ Mg \end{matrix}\right\} Cl_2$$

راتنج المبادل الكاتأيوني راتنج مبادل كلوريد صوديوم (مذاب)
(غير مذاب) (مذاب) كاتأيون الصوديوم
(غير مذاب)

الراتنجات المخلقة ((Syntheyic Resins) هي الأكثر استخداما في مبادلات إزالة العسر ، حيث ترجع قدرتها على التبادل الكاتأيوني إلى وجود مجموعات السلفونيك (Sulphonic Groups) والذي يتم إدخالها أثناء عملية صناعة الراتنج (Sulphonation Step) . وهذه المبادلات عادة منتجات الاستيرين القاعدية (Styrene base) في شكل حبيبات كروية صغيرة ذات لون الكهرمان . طبقة المبادل الأيوني تشبه إلى حد ما بطارية الشحن الكهربي ، حيث يمكن أن تستمر في توفير أيون الصوديوم حتى تمام استهلاك الشحنة. عندئذ يلزم إعادة الشحن أو التنشيط ، وهذا يتم بغسيل طبقة الراتنج

بمحلول مركز نسبيا من الملح العادي (كلوريد الصوديوم) . يتم غسيل الملح الزائد ويكون جهاز إزالة العسر جاهز لدورة ثانية من العمل . توجد طرق كثيرة للتنشيط بطبقة الراتنج والتي تصمم لتحسين الكفاءة . نظرا لأن الراتنج يعمل كمرشح فان الخطوة الهامة هي الغسيل بالتدفق العلوي وذلك للتخلص من تراكم الملوثات العالقة أثناء عملية المعالجة .

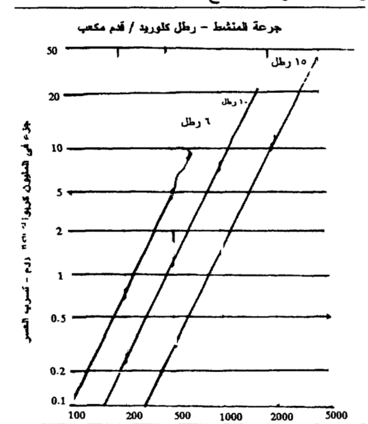
عند استنفاذ طاقة طبقة التبادل الأيوني فان الطبقات العليا للراتنج تحتوى على محتوى عسر عالي وراتنج صوديومي قليل جدا يظل موجودا حتى في الطبقات السفلى . بعد الغسيل العكسي (Back Washing) يعاد توزيع المادة الأيونية خلال الطبقة ، حيث يكون نفس المكون عند كل منسوب في الطبقة . بعد التنشيط (Regeneration) ، المحلول الملحي يحول الطبقات العليا إلى الشكل الصوديومي تماما ، حيث ان كل المحلول الملحي المستخدم في التنشيط يمر إلى اسفل والكمية الملتصقة للبوصات العلوية القليلة تكون كبيرة نسبيا عن المطلوب . فان الملوثات من الطبقات العليا تدفع إلى اسفل ، مع نهاية التنشيط بالمحلول الملحي يظل هناك عسر في الطبقات السفلى . عند إعادة التشغيل لجهاز إزالة العسر ، فان المياه العسر المارة إلى اسفل خلال الطبقات العليا تصبح مزالة العسر تماما . هذا الماء المزال عسرة يكون محتواه عالي من الصوديوم ، يعمل كيمائيا في التنشيط ويستبدل كمية معينة من العسر . وهذا الذي يسمى التسرب (Leakage – re - exchange) قليل نسبيا مقارنة بمعسر الماء الخام قبل المعالجة ، ولكن عادة يكون مشكلة . هذا التلوث يتناسب طرديا مع المحتوى من المواد الصلبة في المياه قبل المعالجة كما في الشكل (٢/١) .

وعند نهاية دورة التشغيل يكون هناك نسبة تسرب من عسر المياه الخام من طبقة الزيوليت السفلى إلى مخرج المياه . نوعية المياه المعالجة منذ البدء إلى النهاية في طبقة المعالجة كما في الشكل (٢/٢) حيث يتضح أن الملوثات الموجودة في المياه الخارجة هي عبارة عن مجموعات الأيونات الناتجة عن إعادة التبادل (Re – exchange) أو الناتجة عن التسرب . نظرا لأن معظم الملوثات تكون نتيجة إعادة التبادل (Re – exchange) فان نوعية المياه تستمر في التحسن مع استمرار التشغيل حتى يصل الراتنج إلى نسبة استهلاك (Exhaustion) ٥ – ١٠% .

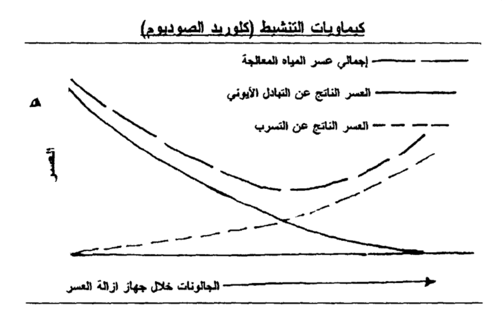
بعض الاعتبارات التصميمية : (Some Design Aspects)

تصميم المعدات المستخدمة لمواد الصنع للمبادل الأيوني لمعالجة المياه يتطلب المواءمة ما بين نوعية المياه بعد المعالجة والتكاليف الكيماوية لكل من عملية التنشيط والفقد في الراتنج . فمثلا يمكن تصميم وحدة إزالة العسر لتحقيق الإزالة لنسبة ادنى من مستوى الكشف الكيماوي ، لذلك يلزم معرفة نوعية المطلوب لتجنب التكاليف الإضافية .

عمليات إزالة العسر العادية ليست عملية عالية الكفاءة . لتقليل التسرب يتم التنشيط باستخدام محلول ملحي بتركيز ١٠ – ١٥% من كلوريد الصوديوم ، مع توفر الوقت الكافي للالتصاق والمكث مع الراتنج وبما يحقق أقصى تنشيط بجرعة الملح المستخدمة ذلك مع تجنب استخدام المياه العسر في الغسيل العكسي بعد التنشيط . وفي حالات التسرب الضعيفة يعاد أحيانا استخدام مياه الغسيل . وفي كل الحالات فان مياه الغسيل يلزم ان تزداد عند جرعات الملح المنخفضة .



شكل (٢/١) كفاءة ازالة العسر تتوقف على الأملاح المذابة في المياه المعالجة وجرعة



شكل (٢/٢) تلوث المياه المعالجة

التسرب (Leakage) :

تسرب العسر هو نتيجة تأثير المواد الصلبة المذابة على العسر التي تم تركه على الطبقة (وخاصة في منطقة طبقة الراتنج السفلي) من عملية التنشيط للراتنج السابقة . قدرة الراتنج قوى الحموضة له حوالي ٤٢ كجرام/القدم المكعب . عند التنشيط بمعدل ٦ رطل كلوريد صوديوم على القدم المكعب ، أقصى طاقة تكون ٢٤ كجرام/القدم المكعب ، تاركا ١٨ كيلوجرام منتشرة خلال الطبقة . مع ١٥ رطل ملح/القدم المكعب أقصى طاقة هي ٣٢ كجرام/القدم المكعب ، تاركا ١٠ كيلوجرام في الطبقة . أثناء دورة إزالة العسر ، فان أملاح الصوديوم المخففة المتكونة بعملية التبادل الأيوني تعمل كمنشط (Regenerant) . تأثير هذا المنشط المخفف له علاقة مباشرة بالتركيز . يظهر العسر على المياه المعالجة بسبب تأثير هذا التنشيط على أيونات الكالسيوم والمغنسيوم المتروك بعد عمليات التنشيط السابقة . الشكل (٢/٢) يوضح هذا التأثير عند تنشيط مبادل كاتأيوني شديد الحموضة عند ٦،١٠،١٥ رطل من الملح/القدم المكعب .

إزالة العسر للمياه ليست عالية الملوحة (Softening Brackish Waters)

لقد امتدت تقنيات إزالة العسر (للكالسيوم والمغنسيوم) من المياه إلى المياه التي

ليست عالية الملوحة حتى وصلت إلى إزالة أجزاء قليلة من المليون للكالسيوم من المياه المشبعة بالملح (Brine) وتختلف التقنيات مع زيادة ملوحة المحلول . يمكن استخدام الراتنج بكفاءة مع استخدام طبقات الراتنج بالتتالي مع التنشيط بالتدفق المعاكس مع زيادة كبيرة لملح التنشيط المستخدم في الوحدة الثانية من التتالي . يمكن استخدامات تقنيات التتالي حتى ملوحة مذابة ٨٠٠٠ جزء في المليون .

يزداد التسرب مع زيادة تركيز المواد الصلبة المذابة ، فمياه الآبار ذات الملوحة حتى ٠,٧٥% (٧٥٠٠ جزء في المليون) من كلوريد الصوديوم تكون مؤثرة إلى حد ما كعوامل تنشيط للراتنجات الكاتأيونية قوية الحموضة . عند مستوى أملاح صلبة مذابة ٥٠٠٠ – ٨٠٠٠ جزء في المليون ، يمكن استخدام راتنج التغليف (Chelatetype Resin) طبقة الراتنج الكاتأيوني شديد الحموضة الثانية في النظام . هذا الراتنج يزيل بكفاءة كل الكالسيوم والمغنسيوم الموجود في المياه الخارجة من الطبقة الأولى . تنشيط راتنج التغليف يتم على مرحلتين ، حيث يستخدم حامض الهيدروكلوريك لإزالة العسر من طبقة الراتنج ثم يستخدم ايدروكسيد الصوديوم لمعادلة الطبقة .

المعدات :

المكونات الأساسية لجهاز إزالة العسر الكاتأيوني الذي يعمل على مراحل (Batch) وهي :

١ – غلاف الوعاء The Shell
٢ – نظام الصرف السفلي
٣ – طبقة التبادل الكاتأيوني .
٤ – نظام توزيع المياه الداخلة إلى الجهاز
٥ – نظام توزيع المياه المالحة (Brine)

غلاف الجهاز (Shells) شكل (٢/٣)

جهاز إزالة العسر الذي يعمل بالضغط عبارة عن اسطوانة من الصلب ذات راس عادة مقعر حيث نصف قطر الرأس المقعر يساوي قطر جهاز إزالة العسر ،

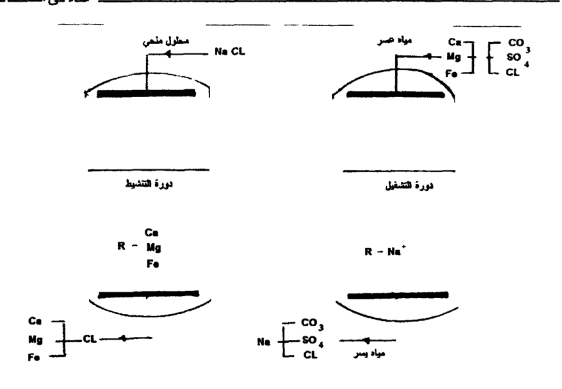
يصمم سمك الجسم المعدني لمقاومة الضغط المطلوب . أجهزة إزالة العسر القياسية تصمم لضغط تشغيل ٠,٧٥ رطل/البوصة المربعة ، رغم وجود وحدات تعمل بضغط تشغيل أعلا من ذلك . الخزان الأسطواني من الصلب عادة لا يتم تبطينه للحماية من التاكل وان كان هذا التبطين للحماية المطلوب .

نظام الصرف السفلي :

جهاز إزالة العسر بالضغط المستخدم كثيرا يحتوى على نظام صرف سفلي من نوع الطبقتين (double dish Type) . مهمة الصرف السفلي هي جمع المياه اليسر ، توزيع مياه الغسيل العكسي ، ازالة مياه الغسيل (الملح) أثناء عملية التغذية بالمحلول الملحي وعملية الغسيل . توجد تصميمات اخرى تستخدم لوح عاكس وبعضها يتطلب استخدام الزلط والرمل .

طبقة التبادل الكاتأيوني : Cation Exchange Bad

تقع طبقة التبادل الكاتأيوني فوق نظام الصرف السفلي ، وهذه الطبقة لا يقل سمكها عن ٢ قدم ولا يزيد عن ٨ قدم . نظرا لأن هذه الطبقة يتم تسويتها وعمل التدرج الهيدروليكي لها بواسطة عمليات الغسيل العكسي ، فان الحبيبات كبيرة الحجم تكون في قاع الطبقة والحبيبات الصغيرة تكون في أعلا الطبقة وهذا يؤكد انتظام المقاومة وكذلك انتظام التدفق للمياه خلال الطبقة . فوق الطبقة يوجد فراغ مرتفع وهذا يمكن من تمدد طبقة التبادل الكاتأيوني عند الغسيل العكسي ، وبذلك تنفصل الحبيبات وتتحرر أي مواد غير مذابة التي تكون قد تجمعت في الطبقة .



شكل (٢/٣) مبادل كاتأيوني حيث التبادل بالصوديوم و التنشيط بالصوديوم

نظام التوزيع للمياه الداخلة : (Inlet Distribution System)

يوجد جامع مياه الغسيل في الجزء العلوي من جسم الجهاز أسفل قمة الجانب المستقيم . وهذا عادة عبارة عن تجهيزات سلسلة من مصافي من النوع المستدير والتي تستخدم أثناء عمليات إزالة العسر وكذلك أثناء الغسيل ذلك لإدخال وتوزيع المياه الداخلة أثناء الغسيل العكسي ، لجمع مياه الغسيل وإرسالها إلى مواسير الصرف الخارجية . توزيع المياه الداخلة ضروري وأساسي وذلك لتجنب عدم انتظام سطح طبقة الراتنج الأيوني ، والذي قد يؤدي الى تسرب المياه في خطوط معينة وليس خلال الطبقة وهذه الظاهرة تسمى (Channeling) . وهذا يؤدي كذلك إلى اختصار دورة التشغيل .

نظام توزيع المياه المالحة : (Brining System)

على مسافة صغيرة فوق سطح طبقة المبادل يوجد نظام توزيع المحول الملحي ، والذي يعمل على دخول وانتظام توزيع المحلول الملحي المخفف فوق طبقة الراتنج وبما يحقق الالتصاق للمحلول الملحي مع كل أجزاء طبقة الراتنج بانتظام .

نظرا لأن الملح العادي يختلف قليلا في درجة إذابته طبقا لاختلاف درجات الحرارة ، فان ضرورة وزن جرعات الملح تصبح غير مطلوبة . يتم استخدام محلول مشبع من الملح وقياسه حجميا . يتم دفع المحول الملحي المشبع إلى أعلا وتخفيفه إلى التركيز المناسب ، ثم دفعه إلى جهاز إزالة العسر بواسطة دافع هيدروليكي . في حالات حيث يدفع المحلول الملحي الى جهاز إزالة العسر باستخدام طلمبة بدلا من الدافع الهيدروليكي ، يتم عمل إجراءات التخفيف إلى التركيز المطلوب قبل الدخول إلى جهاز إزالة العسر وذلك بواسطة خط مواسير مياه إلى خط مواسير وصول المياه المالحة إلى الطلمبة .

تخزين الملح هو كذلك جزء من النظام الملحي . أبسط طريقة للتخزين هي التي تتكون من حوض من الصلب المجلفن أو من البلاستك والذي يحتوى على الملح الكافي لعمليات تنشيط متعددة . يتم تمرير المياه خلال الملح وإذابته والحصول على المحلول الملحي المشبع . في حالة أجهزة إزالة العسر الضخمة تستخدم أحواض علوية او أحواض خرسانية لتخزين حمولة عربة من الملح والذي يستخدم لعمل المحلول المشبع.

السيطرة والتحكم :

المحبس متعدد الاتجاهات (Multi port Value) . يمكن السيطرة والتحكم على المياه أثناء العمل أو أثناء التنشيط باستخدام محابس فردية أو باستخدام محبس واحد متعدد الاتجاهات . كما يمكن أن يتم التحكم يدويا أو آليا ، استخدام المحابس متعددة الاتجاهات يعمل على تبسيط العمليات المطلوبة في التنشيط .

٢ - قاعدة إزالة الأيونات بالتبادل الأيوني: (Basic Demineralization By Ion Exchange)

إزالة الأملاح أو إزالة الملوحة كما تسمى عادة (Demineralization Or Deionization) هي عملية إزالة الملوثات من الأيونات الموجودة في الماء . الكاتأيونات موجبة الشحنة والآن أيونات سالبة الشحنة تعمل على التوصيل الكهربي وتسمى اليكتروليت (Eloctroyte) . وبهذا يكون التوصيل الكهربي قياس النقاء الماء ، حيث

ضعف التوصيل يقابله نقاء عالي للمياه . الملوثات ضعيفة التأين مثل السيليكا تضيف قليلا فقط في قدرة التوصيل الكهربي للمياه .

إزالة الملوحة (الأيونات) بالتبادل الأيوني هو أساسا عملية من مرحلتين . حيث تزال الكاتأيونات (موجبة الشحنة) في خطوة واحدة بالمبادل الآن أيوني شكل (٢/٤) لذا ، عندما تحتوى المياه على الكبريتات والكلوريدات أو النترات للكالسيوم ، المغنسيوم ، الصوديوم أو البوتاسيوم وتمريرها خلال مبادل كاتأيوني الهيدروجينى ، فان الكاتايوني المعدني يزال ويعلق براتنج لمبادل الأيوني ، والذي يعطي كميه مكافئة من أيونات الهيدروجين في التبادل . نظرا لوجود آن أيونات بكميات مكافئة من الكبريتات والكلوريدات أو النترات ، فان النتاج النهائي سيكون محلول من أحماض الكبريتيك ، الهيدروكلوريك أو النتريك . باستخدام كبريتات الكالسيوم كمثال ورمز لراتنج الزيوليت من التبادل الكاتأيوني المعقد (RSO3H) فان التفاعل يكون كالآتي :

$$CaSo_4 + 2RSO_3H \longrightarrow (RSO_3)Ca + H_2SO_4$$

غير مذاب غير مذاب

هذه الأحماض شديدة التأين ، الكبريتيك ، الهيدروكلوريك أو النيتريك عندئذ تزال بواسطة مبادل آن أيوني . باستخدام الرمز (R_4N) لراتنج المبادل الآن أيوني المعقد ، التفاعل هو كالآتي :

$$H_2SO_4 + 2R_4NOH \longrightarrow (R_4N)_2\,So_4 + 2H_2O$$

غير مذاب غير مذاب

يلاحظ أن النتيجة النهائية للمرحلتين الموضحين في تلك التفاعلات هو إزالة (تبادل) الأملاح المذابة (كبريتات الكالسيوم) في كلا المبادلات الأيوينة الغير مذابة .

تنشيط المبادل الكاتايوني : Regeneration of the Cation Exchanger

عند استهلاك الطاقة المفيدة للتبادل لمبادل الهيدروجين الكاتأيوني ، فانه يتم إعادة تنشيطها بواسطة حامض ، والذي يزيل العناصر المتراكمة مثل الكالسيوم والمغنسيوم والصوديوم . في نفس الوقت يأخذ المبادل الكاتأيوني كمية مكافئة من الأيونات الهيدروجينية في عملية التبادل وبذا يستعيد نفسه إلى ما كان عليه من الشكل

الهيدروجيني . الحامض المستخدم عموما في عملية التنشيط هو حامض الكبريتيك المخفف . حامض الكبريتيك المخفف. حامض الهيدركلوريك ممتاز ولكنه مكلف .
عند استخدام الكالسيوم ليمثل المبادل الكاتأيوني المستنفذ والرمز RSO3H ليمثل راتنج المبادل الكاتأيوني مع حامض الكبريتيك للتنشيط فان التفاعل يكون كالآتي :

$$(RSo_3)_2Ca + H_2SO_4 \longrightarrow 2RSO_3H + CaSo_4$$

(RSo₃)₂Ca ← غير مذاب ، 2RSO₃H ← غير مذاب

تنشيط المبادل الآن ايوني : (Regenesation of the anion Exchanger)

عند استنفاذ طاقة التبادل المفيدة للمبادل الآن أيوني ، فانه يتم تنشيطه باستخدام قلوي الذي يزيل الآن أيونات المتراكمة في شكل أملاحها المذابة ويستعيد المبادل الآن أيوني حالته الأولى . باستخدام المبادل المستنفذ الآن أيوني عالي القلوية والذي تحول إلى شكل حامض الكبريتيك كمثال ، الشكل R_4N يمثل راتنج المبادل الآن أيوني . فان تفاعل التبادل يمكن أن يكون كالآتي :

$$(R_4N)_2So_4 + NaOH \longrightarrow 2R\,NOH + Na_2So_4$$

(R₄N)₂So₄ ← غير مذاب ، 2R NOH ← غير مذاب

يزال كذلك الكلوريدات ، النترات ، البيكربونات ، والسيليكا بنفس الحالة المشابهة للتنشيط بواسطة الصودا الكاوية والتي تزيل الأحماض في شكل أملاح الصوديوم لهذه الأحماض وبذلك يستعيد المبادل الآن أيوني حالته الأصلية .

راتنجات التبادل الأيوني : Ion Exchange Resins

يوجد أنواع كثيرة من المبادلات الأيونية عند صناع الراتنج . أنواع راتنج الزيوليت الرئيسية لها خصائص متشابهة وتقسم كالآتي :

راتنجات التبادل الكاتايوني : Cation Exchange Resin

١ – شديد الحموضة : Strongly Acidic

أ Sulphonated polystystyrene type with divenyl benzene Cross Linkage

ب – Carbonaceous type (sulphonated Coal)

٢ – ضعيفة الحموضة : Weakly acidic

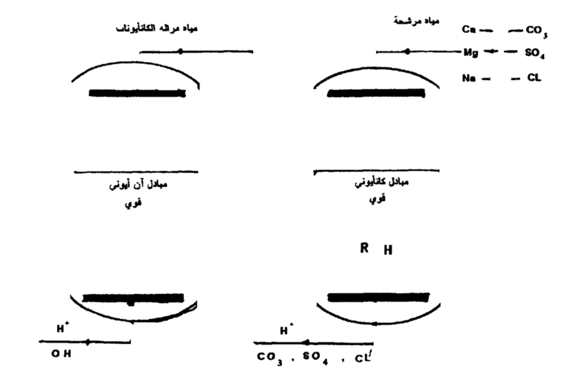
Carboxylic acid type with a cross – lined a crylic Matrix.

راتنجات التبادل الآن أيوني : Anion Exchange Resins

١ – شديدة القلوية :

أ – Polystyrene Type with quarternary ammonium functionality , Type I.

ب – Polystyrene Type with quarternary ammonuim functionality type II.



شكل (٢/٤) تحلية المياه بالتبادل الأيوني

٢ – ضعيفة القلوية : Weakly Basic

أ – Aliphatic Polyamide Type

ب – Epoxy – Polyamide Type

جـ – Polystyrene Type with tertiary amine functionality

كل نوع من هذه الراتنجات له خاصية او اكثر ضرورية في عملية إزالة الملوحة . وهذه الخصائص لهذه الراتنجات كالآتي :

١ – شديد الحموضة : يمكنه مبادل أيون الهيدروجين H^+ لكاتأيونات كل الأملاح ،

مثال أيون الصوديوم Na^+ في كلوريد الصوديوم NaCl ، بيكربونات الصوديوم $NaHCO_3$ ، كبريتات الصوديوم Na_2SO_4 .

٢ – **ضعيف الحموضة** : يمكنه مبادلة أيون الهيدروجين H^+ فقط لكاتأيونات أملاح الأحماض الضعيفة . فمثلا يمكن مبادلة أيون الهيدروجين H^+ لأيون الكالسيوم Ca^{+2} في $Ca(HCO_3)_2$ ولكن ليس في كبريتات الكالسيوم $CaSO_4$. ولذا فانه نادرا ما يستخدم كراتنج التبادل الكاتأيوني الوحيد في عملية إزالة الملوحة ، ولكنه يستخدم في كثير من الحالات كمساعد في المبادل الكاتأيوني الأقل كفاءة ، وذلك نظرا للكفاءة العالية للمبادل ضعيف الحموضة ، حيث طاقتها عالية وكافية التنشيط ممتازة . معظم راتنجات الحموضة المنخفضة هي من نوع Carboxylic Type with Cross Linked Carboxylic Matrix.

راتنجات التبادل الآن أيوني : Anion Exchange Resins

١ – **شديدة القلوية** : **Strongly Basic**

قادرة على تبادل أيون الهيدروكسيد OH^- لآن أيونات كل الأحماض ، مثل أيون SO_4^{2} في حامض الكبريتيك H_2SO_4 ، أو لأيون البيكربونات HCO_3 في H_2CO_3 .
ومن خصائصها الهامة هي القدرة على إزالة السيليكا المذابة .

أ – النوع I من راتنج التبادل الآن أيوني شديد القلوية : هو اكثر ثباتا ، ولكن كفاءته الكيميائية قليلة عن النوع II من الراتنجات الآن أيونية . وهو يستخدم عادة في إزالة ملوحة المياه السطحية لمقاومته العالية لترسيبات الملوثات العضوية الموجودة عادة في المياه السطحية .

ب – النوع II من راتنج التبادل الان أيوني شديد القلوية : وهو أكثر كفاءة في الاستخدام للتنشيط الكيميائي عن النوع I ولكن ليس له القدرة أو الثبات في خفض السيليكا إلى الدرجة الممكنة بواسطة النوع I . وهو أكثر حساسية للترسيبات من الملوثات العضوية عن النوع I .

٢ – **ضعيف القلوية** : **Weakly basic**

يمكنه إزالة الأحماض القوية فقط مثل أحماض الهيدروكلوريك والكبريتيك

و النيتريك (HCl , H_2So_4 , HNo_3) . (يلاحظ انه في حالة من الراتنجات من هذا النوع فان كل جزئ الحامض يمتص على الراتنج وليس فقط التبادل لأيونات OH بالآن أيونات ، كما في حالة الراتنجات شديدة القلوية . ولكن ، النتيجة النهائية هي نفسها وعادة ما يكتب تفاعل التبادل الأيوني متشابه في حالتي الراتنجات شديدة القلوية والضعيفة القلوية) . الراتنجات ضعيفة القلوية هذه لديها كفاءة كيميائية عالية ، ولكنها لا تقدر على الإزالة الأحماض الضعيفة مثل حامض الكربونيك والسيليك ، (Silicic Acid) . وبزا فان استخدمها الرئيسي هو مساعدة للقلوي القوي الأقل كفاءة من الراتنجات الآن أيونية .

أ – النوع من البلمرات الأليفاتية Aliphatic Polymer Type ، ذات كفاءة عالية وثبات ولكن لا يمكنها التنشيط باستخدام قلوي قوي مثل الصودا الكاوية ، ولكن عادة تنشط بالصودا آش (Na_2CO_3) .

ب – النوع (Epoxy Polyamine Type) ، كفاءة عالية وطاقة عالية ولكنه أحيانا يكون حساسا للترسيبات العضوية (Organic Fouling) في بعض المياه من المجاري السطحية. التنشيط عادة باستخدام ايدروكسيد الصوديوم .

جـ – نوع (Polystyrene Type with Tertiary Amine) ، كفاءة عالية للترسيبات العضوية . التنشيط عادة يتم باستخدام ايدروكسيد الصوديوم .

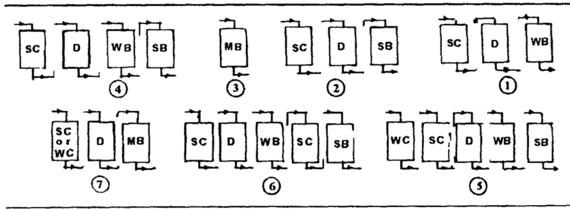
٣ - قواعد نظم إزالة الأملاح المعدنية شكل (٢/٥): Basic Demineralization Systems

التصميم الجيد لنظام إزالة الأملاح يجب أن يأخذ في الاعتبار إمكانية استخدام أي أنواع من الراتنجات في أي حالة تطبيقية . يتطلب هذا التعرف الجيد على هذه الراتنجات والاستعانة بآراء المنتجين لهذه الراتنجات . كما يلزم التعرف الجيد على المعدات المستخدمة في عمليات التبادل الأيوني وكذلك الأجهزة المساعدة والتكلفة . تنظيم عملية إزالة الأملاح وأسباب استخداماتها موضح في شكل (٢/٥) .

دورة كاتأيون الراتنج الهيدروجيني : Cation Resin – Hydrogen Cycle

يعبر عن نوعية المياه التي أزيلت ملوحتها بالتسرب (Leakage) للمكونات

الأيونية من نظام التبادل الأيوني ، والذي تتوقف قيمته على تصميم الوحدة المستخدمة . فمثلا وحدة مكونة منطبقتين مختلطتين (Mixed Bed) من كل من طبقة من راتنج كاتأيوني شديد الحموضة يليه راتنج شديد القلوية سوف تسمح بنسبة من التسرب بينما عند استخدام نظام طبقة مختلطة من مبادل كاتأيوني قوي ومبادل آن أيوني قوى لا يحدث تسرب .



شكل (٢/٥) حالات مختلفة لتنظيم عملية إزالة الملوحة حيث :

SC – تعني (Strongly Acidic Cation Exchanger) – مبادئ كاتأيوني شديد الحموضة.

WC – تعني (Weakly Acidic Cation Exchanger) – مبادل كاتأيوني ضعيفة الحموضة .

SB – تعني (Strong Basic Anion Exchanger) – مبادل آن أيوني شديد القلوية .

WB – تعني (Weakly Basic Anion Exchanger) – مبادل آن أيوني ضعيف القلوية.

MB – تعني (Mixed Bed Exchanger) – مبادل ذو طبقات مختلطة .

D – تعني (Degasifier For Removal of Co_2) – جهاز إزالة الغازات (Co_2) .

١ – النوع القديم لعملية إزالة الأملاح والتي لا تزيل السيليكا . كمية صغيرة من CO_2 لا تزال بواسطة جهاز إزالة الغازات وتظل في المياه المنتجة .

٢ – أبسط تنظيم للإزالة الكاملة للأملاح . يتوقف أداء جهاز إزالة الغازات على القلوية في المياه الخام .

٣ – الطبقات المختلفة يمكن ان تنتج نوعية من المياه خالية من الأملاح بدرجة

كبيرة ، ولكن تكاليف العمليات الكيميائية أعلا من نظام المرحلتين .

٤ – يشمل هذا النظام كفاءة عالية للراتنج ضعيف القلوية لإزالة الكلوريدات والكبريتات ، مع وحدة شديدة القلوية لإزالة السيليكا والمتبقى القليل من Co_2 . التنشيط عادة في الاتجاه المعاكس أولا خلال SB ثم خلال WB .

٥ – يشبه النظام السابق ولكن يضيف كفاءة للراتنج ضعيف الحموضة . تنشيط الراتنج الكاتأيوني عادة في الاتجاه المعاكس – أولا خلال SC ثم WC .

٦ – نظام له كفاءة عالية وتوفير النقاء للمياه .

٧ – يوفر هذا النظام تحسن للطبقة المختلطة عند المياه المعالجة ذات نسبة عالية من القلوية .

٨ – يتكون هذا النظام من النظم ١ ، أو ٢ ، ٣ ، ٤ أو ٥ مع MB للتشطيب النهائي أو لزيادة الكفاءة الكيميائية .

٩ – النظام ٤ ، ٥ حيث الكاتأيون الضعيف والكاتأيون القلوي في نفس الوعاء أو الآن أيون الضعيف والآن أيون القوي في نفس الوعاء ، وذلك لخفض التكاليف .

في نظام الطبقتين أثناء التبادل الكاتأيوني ، فان أيونات الهيدروجين التي انطلقت في المحلول في الجزء العلوي من طبقة الكاتايون يمكن أن تتبادل مع أيونات الصوديوم التي لم تنشط في قاع الطبقة . ولذا ، فان هناك احتمال لتسرب كمية صغيرة من الصوديوم في المبادل الكاتأيوني . في المبادل الآن أيوني ، ، الآن أيونات المصاحبة لتسرب الصوديوم تتبادل كذلك مع أيونات الايدروكسيد بما يؤدي إلى تسرب ايدروكسيد الصوديوم . في الطبقة المختلطة كلا من تفاعلات الآن أيون والكاتأيون تحدث في الحال ، مع تعادل أيون الهيدروجين من المبادل الكاتأيوني للراتنج مع أيونات الايدروكسيد المنطلقة من الراتنج الآن أيوني . في عمليات الطبقة المختلطة تفصل راتنجات الكاتأيونات والآن أيونات قبل التنشيط . لهذا ، فان عمليات التنشيط المشابهة تطبق لكل من وحدات الراتنج المختلطة والمنفصلة .

تسرب الكاتأيون : (Cation Leakage)

في نظام الطبقتين ، تتحدد نوعية المياه في نظام الطبقتين طبقا للتسرب من المبادل الكاتأيوني . هذا التسرب هو دلالة لنوعية المياه المعالجة ، حامض التنشيط ، ومستوى الحامض المستخدم ، وطريقة التنشيط . تتوقف درجة إزالة مختلف الأيونات على طريقة عمل الراتنج الكاتأيوني (Cation Resin Selectivity) . نظرا لأن كفاءة الراتنج في تبادل الكاتأيونات ثنائية التكافؤ اكثر من الكاتأيونات وحيدة التكافؤ . لذلك فان التسرب من المبادل الكاتأيوني سيكون من الصوديوم والبوتاسيوم وحيد التكافؤ أكثر من الكالسيوم والمغنسيوم ثنائي التكافؤ . زيادة تركيز الصوديوم في الكاتأيونات الكلية للمياه المعالجة يسبب تسرب كبير للصوديوم في المبادل الكاتايوني . يتأثر كذلك تسرب الكاتايونات بمستوى الأملاح الكلية المذابة والقلوية (أيونات الكربونات والبيكربونات) . المياه ذات التركيز العالي من الأملاح الكلية المذابة تعمل على زيادة التسرب عند ثبات ظروف التنشيط بينما وجود القلوية في المياه يؤدي إلى خفض تسرب الكاتأيونات .

بالنسبة لمياه معينة فان التسرب من المبادل الكاتأيوني يتأثر بمستوى تركيز حامضي التنشيط وطريقة التنشيط عند التدفق السفلي لحامض التنشيط ، قمة الطبقة تتحول تماما إلى شكل الهيدروجين أكثر من القاع . لذلك ، عند عدم استخدام كمية كبيرة من الحامض فان قاع الطبقة سوف يحتوى على كمية من الصوديوم . أثناء الدورة التالية ، فان الكاتأيونات تتبادل مع الهيدروجين في أعلا الطبقة . أيونات الهيدروجين هذه عندئذ تتبادل مع الصوديوم في قاع الطبقة ، وهذا يؤدي إلى التسرب في المياه المنتجة .

راتنجات الكاتأيون : Cation Resins

كل نظم إزالة الملوحة تقريبا تستخدم أحد أنواع راتنجات الكاتأيون شديدة الحموضة . يتوقف نوع الراتنج المستخدم على تصميم الوحدة وحالة المياه المعالجة . في ظروف الأكسدة العالية العدوانية ينصح باستخدام راتنج كاتايوني مثقب (Macroporous) عالي الثبات . رغم ان طاقته اقل من النوع الجيلاتيني (Gelcation) إلا

أن النوع الأول مقاوم للتحلل وله أداء جيد في الحالة المختلطة (Mixed Bed) .

تنشيط الكاتأيون : (Cation Regeneration)

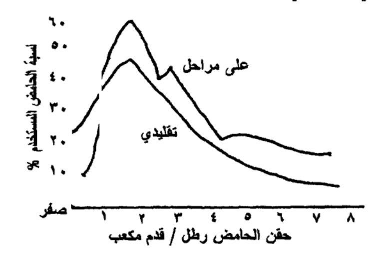
عند استنفاذ الراتنج يستخدم الحامض لتحويله إلى الشكل الهيدروجيني لـــدورة استنفاذ ثانية . طاقة الأداء للراتنج شديدة الحموضة تتوقف علـــى مســتوى التنشــيط المستخدم . للتنشيط يستخدم مصدر لأيون الهيدروجين . حيــث تســتخدم أحمــاض الكبريتيك ، الهيروكلوريك ، والنيتريك التجارية . حامض الهيروكلوريك يوفر طاقـــة استخدام عالية من حامض الكبريتيك عند التركيزات المتساوية . نظـــرا لأن الراتنـــج شديد الحموضة ، فان الحامض لا يستنفذ تماما ، ولهذا فان السائل بعد التنشيط يحتوى على حامض لم يتفاعل . في بعض الحالات يمكن إعادة استخدام هذا السائل المحتــوى على الحامض وتدويره . للتنشيط بالحامض ، يلزم أن يؤخذ في الاعتبار عدة متغيرات وهي اختيار الحامض ، تركيزه ، الجرعة ، معدل التدفق ، اتجـاه التدفــق ، وزمــن المكث . اختيار الحامض يتوقف على توفره واعتبارات اقتصادية . الحامض الأكـــثر استخداما هو حامض الكبريتيك وحامض الهيدروكلوريك وقد يستخدم حامض النيتريك. للمقارنة بين حامض الكبريتيك وحامض الهيدروكلوريك يلزم ان يؤخذ في الاعتبـــار عدة عوامل.

يبدو ان استخدام حامض الكبريتيك مفضل على الســـطح . ســعر حــامض الكبريتيك هو نصف حامض الهيدروكلوريك ، حامض الكبريتيك يحقـــق وفــر فـــي التنشيط . تنشيط راتنج الكاتأيون يشمل كلا من التبادل الأحادي – الأحادي (Na^+ , H^+) والأحادى – الثنائي (H+ , Ca++) . للحصول على أقصى كفاءة فان تركيز الحامض لا يقل عن ٤–٥% . باستخدام حامض الكبريتيك تتكون كبريتات الكالسيوم القليلة الإذابة في الماء ، والتي قد ترسب في طبقة الراتنج . وقد تتسرب إلى الخـــارج فـــي دورة الاستنفاذ التالية (Exhaustion Sycle) . ولهذا السبب فان التنشيط بحـــامض الكــبريتيك منخفض التركيز عند معدل تدفق معين يكون هو الاختيار المناسب . عملية التنشـــيط تكون حساسة وتوجد مشاكل مؤثرة عن حالة استخدام حامض الهيدروكلوريك .

التنشيط باستخدام حامض الكبريتيك يكون مؤثر جدا في حالة زيـــادة تركـــيز

المنشط بالتدريج إما باستمرار أو بالتدريج . طريقة التنفيذ هذه توفر اكبر زمن تلامس بينما تمنع ترسيب كبريتات الكالسيوم . بهذه الطريقة فان الجرعة تنخفض إلى أدناها متوازية مع طاقة التبادل ونوعية المياه المطلوبة . معدل تدفق التنشيط يتم التحكم فيه بتركيز الحامض والكالسيوم في الطبقة المستنفذة لراتنج الكاتأيون .

في كثير من الوحدات استخدم حامض كبريتيك مخفف (١-٢%) للتنشيط بمعدل تدفق عالي لتجنب مشاكل الترسيب . توفر هذه الطريقة بساطة في التصميم وتتصف بقصر زمن التنشيط . مقارنة بهذه الطريقة ، فان طريقة المراحل (Step wise) تستهلك كمية حامض كبيرة وتعطي طاقة عالية شكل (٢/٦) . استخدام الحامض بهذه الطريقة يعطي تحسن في تكاليف التشغيل .



شكل (٢/٦) استخدام الحامض على مراحل ، وتقنية التنشيط التقليدي

نظرا لعدم وجود تكون لأملاح الكلوريد من الكاتأيونات الموجودة عادة في المياه ، فان حامض الهيدروكلوريك يمكن استخدامه في أي تركيز وعند أي معدل تدفق الذي يحقق أقصى إزالة للكاتأيون لكل رطل من المنشط . بالإضافة إلى أن إعادة استخدام أو تدوير جزء من محلول المنشط يوفر كفاءة طاقة عالية ونوعية مياه جيدة . يمكن تنفيذ التدوير للحامض ببساطة شديدة بجمع حجم السائل بعد التنشيط لإعادة الاستخدام . بعد الغسيل العكسي يتكون التنشيط من إضافة للحامض المستخدم ، إضافة لحامض جديد ، ناتج الغسيل . التدوير مفيد في حالة جرعة ٤ رطل من حامض

الهيدروكلوريك ١٠٠% على القدم المكعب . استعادة ٣٠-٥٠% من الحامض المستخدم مفيد اقتصاديا عند مستويات التنشيط زيادة عن ٤ رطل/القدم المكعب .

تركيز حامض الهيدروكلوريك المستخدم قد يختلف طبقا للكاتأيونات الموجودة في طبقة المبادل المستنفذة . في حالة أن الصوديوم هو المكون الأكثر ، يستخدم تركيز منخفض للحامض أي ٤-٥% حامض هيدروكلوريك . أما عندما يكون الكالسيوم والمغنسيوم هو الأكثر وجودا عندئذ يستخدم حامض الهيدروكلوريك بتركيز ٨-١٠%. لذلك عند وجود عسر عالي وللحصول على كفاءة عالية عندئذ يكون تركيز حامض الهيدروكلوريك المستخدم ١٠% كما يزداد زمن الالتصاق ما أمكن ذلك . وعموما عند تناول كل الاعتبارات يكون حامض الهيدروكلوريك هو المفضل عن حامض الكبريتيك.

طرق كاتايونية أخرى : Other Cation Methods

يستخدم التدفق العلوي لتنشيط الراتنج الكاتأيوني في حالة التسرب العالي للصوديوم أو في حالة التأكد من خفض تسرب الصوديوم ، وذلك لأن إضافة الحامض عند قاع طبقة الراتنج يؤكد تمام تنشيطها . بهذا يخفض تسرب الصوديوم لأن أي صوديوم لم يتم إزالته يحجز في المنطقة العليا من الطبقة ثم يحدث التبادل مع الهيدروجين في المنطقة السفلى في الدورات التالية . طرق التنشيط بالاتجاه المعاكس للتدفق تسبب التمدد الكافي لطبقة الراتنج بما يساعد على الالتصاق ما بين الراتنج والحامض . هذا يقلل من استخدام الحامض وكذلك يقلل من طاقة التشغيل . هذا بالإضافة إلى توفر معدات خاصة وطرق تشغيل تعمل على خفض تمدد طبقة الراتنج.

توجد تصميمات مختلفة لمعدات إزالة الملوحة بالتبادل الأيوني . استخدام نظم الكاتأيوني المتعددة يعمل على تحسن نوعية المياه ، وباستخدام طبقات الكاتأيون المختلطة يعطي افضل نوعية للمياه المنتجة . استخدام راتنج مبادل كاتأيوني ضعيف الحموضة يوفر اقتصاديات في التشغيل في كثير من تطبيقات معالجة المياه . هذه الراتنجات توفر كفاءة جيدة ، وهي تستخدم على التوالي مع المبادلات شديدة الحموضة وفي بعض الحالات في طبقات مفردة من راتنجات شديدة الحموضة ، ضعيفة

الحموضة .

دورة الراتنج لآن أيون الهيدروكسيد : Anion Resin – Hydroxide Cycle

في كثير من نظم إزالة الملوحة (Demineralizer Systems) يكون أداء دورة الكاتأيون الذي يحدد النوعية النهائية للمياه . تسرب الصوديوم من نظام الكاتأيون للوحدة التي تعمل بطبقتين (2-bed) يقلل من نوعية المياه حتى في حالة الأداء الجيد لوحدة الآن أيون .لذا ، يلزم الاهتمام بوحدة الكاتأيون لخفض التسرب . ولكن أداء دورة الآن أيون ليست أقل أهمية في عملية إزالة الملوحة . في الواقع فان اقتصاديات دورة الآن أيون نظرا لأن المنشط المستخدم أكثر تكلفة (الصودا الكاوية في مقابل حامض الكبريتيك المستخدم لتنشيط زيوليت الكاتأيون) هذا بالإضافة إلى أن راتنجات الآن أيون أقل ثباتا من راتنجات الكاتأيون . هذا بالإضافة رغم أن تسرب الكاتأيون يؤثر بوضوح على التوصيل الكهربي للمياه المنتجة (وهو القياس المستخدم على نطاق واسع لمدى تنقية المياه) فان تسرب كمية صغيرة من السيليكا من وحدة الآن أيون يمكن ان يسبب مشاكل حادة ، المحتوى من السيليكا يمكن تقديره بالتوصيل الكهربي . من الأهمية كذلك بالنسبة لدورة الآن أيون هو احتمال التراكمات العضوية عل الراتنج . ولذا فانه يلزم التحكم في أداء دورة الآن أيون لتأكيد إنتاج مياه ذات نوعية عالية .

في دورة الكاتأيون يتم تبادل الكاتأيون بأيونات الهيدروجين ، وبهذا ينتج الحامض المقابل . مهمة دورة الآن أيون هو إزالة الحموضة والحصول على مياه خالية من الأملاح .

اختيار راتنج الآن أيون : Choosing the anion Resin System

يستخدم في عمليات إزالة الملوحة راتنجات الآن أيون شديد القلوية والراتنجات قليلة القلوية . الراتنجات شديدة القلوية قادرة على خفض كل الأحماض الشديدة والضعيفة في المياه التي عولجت بالكاتأيون .

نظرا لأن أيونات الهيدروكسيد المنطلقة يتم تعادلها بواسطة الأحماض ، لذلك لا يحدث تسرب للحامض . وحتى آن السيليكا وثاني أكسيد الكربون يتم خفضهما إلى مستويات منخفضة جدا . تنشيط الراتنجات شديدة القلوية هو مجرد الآن أيونات التي

تم استبدالها بأن أيونات الهيدروكسيد من مصدر قلوي . الراتنجات شديدة القلوية تتحلل بشدة ولا تشكل كفاءة عالية لأيونات الهيدروكسيد . التنشيط ممكن فقط في حالة استخدام تركيز عالي من الصودا الكاوية بما يعطي قوة دافعة لدفع الراتنج إلى شكل الهيدروكسيد . لذلك فان التنشيط للراتنج شديد القلوية لا يكون بكفاءة تامة ، حيث جزء من الصودا الكاوية الغير متعادلة في الصرف للمنشط .

الراتنجات ضعيفة القلوية تزيل الأحماض القوية مثل حامض الهيدروكلوريك والكبريتيك ولكنها لا تمتص الأحماض الضعيفة مثل حامض الكربونيك (H_2Co_3) ، (H_2SiO_3) . الراتنجات ضعيفة القلوية تسلك مثل القلويات العضوية الضعيفة مثل الأنيلين . راتنج القلوي الضعيف ليس لديه شكل الهيدروكسيد كما في حالة الراتنج شديد القلوية ، لذلك فان الذي يمتص هو كل جزئ الحامض وليس الأيون المحدد . لكون الراتنج ضعيف القلوية فان تفاعلاته في طبيعتها حامضية - قلوية وتستمر حتى الاكتمال . لذلك فان التنشيط القلوي يتطلب فقط معادلة الحامض الممتص وليس لتوفير أيون الهيدروكسيد لإعادة التبادل نتيجة لذلك ، يمكن استخدام مواد ضعيفة القلوية للتنشيط مثل النشادر أو كربونات الصوديوم وهي منخفضة التكاليف . هذا بالإضافة إلى أن الراتنجات ضعيفة القلوية يمكنها الاستفادة بحوالي ٨٠% من المادة المستخدمة عكس ما هو ٤٠% للراتنج شديد القلوية .

ويضاف إلى ذلك أن مميزات الراتنجات ضعيفة القلوية هو طاقة التشغيل العالية بالنسبة للأحماض القلوية . فمثلا ، عند معالجة نفس التدفق لأحماض قوية عند معادلات تنشيط متساوية (٥ رطل/القدم المكعب) ، فان راتنجات آن أيونات القلوي القوى تعطي طاقة تشغيل حوالي ١٥ كجم/القدم المكعب بينما راتنجات القلوي الضعيف تعطي ٣٠ كجم/القدم المكعب . وبذلك يكون استخدام راتنجات ضعيفة القلوية اقتصادي إلى حد كبير .

عندما يكون إزالة السيليكا وثاني أكسيد الكربون ليس ضروريا ، يمكن استخدام راتنج ضعيف القلوية في وحدة إزالة ملوحة مبسطة ذات الطبقتين . مثال،على حالة المياه شديدة الحموضة (لإزالة لأي من السيليكا أوثاني أكسيد الكربون) يمكن

الحصول على مياه ذات مقاومة ١-٢ ميجا أوم (1-2 Megaohms) وذلك باستخدام نظام كاتأيون شديد - آن أيون ضعيف . في حالة ضرورة إزالة ثاني أكسيد الكربون يمكن استخدام جهاز إزالة الغازات (Degasi fier) للحصول على مياه ذات نوعية حوالى ٥ جزء في المليون. هذا الربط ما بين إزالة الأيونات بالكاتأيونات القلوي- الآن أيون الضعيف يعتبر مثالي في كثير من العمليات الصناعية . أي تسرب للصوديوم من المبادل الكاتأيوني يحدث كملح (كلوريد الصوديوم كمثال) في المياه المنتجة .

عندما يكون المطلوب هو إزالة السيليكا و/أو الإزالة الكاملة لثاني أكسيد الكربون فانه يجب استخدام راتنج شديد القلوية ، النظام المتبع هو كاتأيون قوي - آن أيون قوي . ولكن من الناحية الاقتصادية عندما يكون مطلوب مياه ذات حموضة يمكن تقديرها . يمكن استخدام راتنج ضعيف القلوية - راتنج شديد القلوية معا . هذا الراتنج ضعيف القلوية يعمل على امتصاص الأحماض المعدنية الحرة مع الراتنج شديد القلوية الذي يقوم بحجز السيليكا وثاني أكسيد الكربون . أي تسرب للصوديوم يحدث يكون في شكل قلوي . يمكن استخدام صرف القلوي من الراتنج شديد القلوية كراتنج ضعيف القلوية بما يحسن من الكفاءة الكلية .

وبهدف التطوير من الناحية الاقتصادية ، تستخدم طبقات من الراتنجات القلوية القوية والضعيفة ، حيث توضع طبقة الراتنج ضعيف القلوية على قمة طبقة الراتنج شديد القلوية التي في القاع . دورة العمل تكون بالتدفق السفلي لزيادة الكفاءة .

إزالة ثاني أكسيد الكربون : Carbon Dioxide Removal

أيونات الكربونات والبيكربونات توجد عادة في مصادر المياه وهذه تعرف بالقلوية . عند التمرير خلال دورة الكاتأيون تتحول القلوية إلى حامض الكربونيك . في حالة الحاجة إلى مياه خالية من هذا الحامض توجد طريقتين وهما الميكانيكية والتبادل براتنج شديد القلوية . يفضل عادة الطريقة الميكانيكية لإزالة الغازات عن التبادل بالقلوي القوي وذلك من الناحية الاقتصادية وخاصة في حالة الرغبة في إزالة كميات كبيرة من ثاني أكسيد الكربون . المتبقى من ثاني أكسيد الكربون بعد المعالجة الميكانيكية في حدود بعض الأجزاء في المليون ، والتي يمكن خفضها باستخدام المبادل

القاعدي القوي . تستخدم الطريقة الميكانيكية لإزالة ثاني أكسيد الكربون بعد دورة الكاتأيون . في حالة وضعها قبل راتنج ضعيف القلوية ، يمكن الحصول على أقصى إزالة لثاني أكسيد الكربون ولكن يجب ان تكون المعدات مقاومة للأحماض . كما يمكن كذلك وضعها بعد وحدة القلوي الضعيف .

إزالة السيليكا : Silica Removal

توجد السيليكا عادة في مصادر المياه عند أقصى مستويات بعدة أجزاء في المليون ، ولكن إزالتها تماما يعتبر أساسي في بعض التطبيقات مثل الغلايات ذات الضغط العالي. عند المرور خلال وحدة الكاتأيون ، تتحول السيليكا إلى حامض السيليسيك (H_2SiO_3) . هذا الحامض الضعيف جدا يحجز بواسطة الراتنجات شديدة القلوية . نظرا لأنه أضعف حامض من بين الأيونات الممتزه ، يحدث اختراق للسيليكا قبل الأيونات الأخرى . يجب الحرص عند إزالة السيليكا حيث الطريقة الغير صحيحة يمكن أن تؤدي إلى تسرب مشاكل السيليكا .

نظرا لتراكم السيليكا وتستمر (Ages) في الراتنج الآن أيوني ، فإنها يمكن أن تتبلمر خلال مكونات البوليمر للراتنج . لذلك ، عند التنشيط باستخدام الصودا الكاوية ، ليس بالضرورة فقط تحقيق تبادل الأيونات ولكن إذابة السيليكا التي تبلمرت كذلك . يلزم استخدام الصودا الكاوية الساخنة للمساعدة في عملية الإذابة . عند الإزالة التامة للسيليكا عند التنشيط ، تنخفض إلى حد كبير مشاكل التسرب .

٤ - التطبيق التكنولوجي لمعالجة مياه التغذية للغلايات : شكل (٢/٧) ، (٢/٨)

Applied Technology-Boiler Feed water Treatment.

معالجة مياه التغذية للغلايات يقصد بها منع الترسبات (Scale) وتكون الرواسب (Sludge depositions) ، والتآكل ، الحمل البخار (للماء أو الغازات) (Carry over) .

تكون الترسيبات في الغلاية :

تعتبر المعالجة لمياه التغذية للغلاية أساسية للأداء الجيد للغلاية ، سواء كانت ذات التصميم بماسورة اللهب أو بماسورة المياه . تظهر أهمية معالجة المياه مع تفهم

كيفية تكون الترسيبات في الغلاية وماذا يحدث عند تكونها .

عند درجات الحرارة السائدة في غلاية البخار ، تتكون الترسيبات من كل من عسر الكربونات والغير كربونات . تحلل عسر الكربونات للكالسيوم والمغنسيوم موضح في المعادلات الآتية :

$$Ca\,(HCO_3)_2 \longrightarrow CaCO_3 + H_2O + CO_2$$

$$Mg\,(HCO_3)_2 \longrightarrow MgCO_3 + H_2O + CO_2$$

$$MgCO_3 + H_2O \longrightarrow Mg\,(OH)_2 + CO_2$$

ينطلق ثاني أكسيد الكربون مع البخار بينما كربونات الكالسيوم والمغنسيوم وايدروكسيد المغنسيوم ترسب كترسيبات (Scales) .

في حالة الضغط العالي ودرجة الحرارة المرتفعة ، تنخفض إذابة كربونات الكالسيوم والمغنسيوم وايدروكسيد المغنسيوم . فمثلا ، عند ضغط ٢١٠ رطل / بوصة مربعة (١٤,٧ كجم/سم٢) ودرجة حرارة ٣٩٢ فهرنهيت (٢٠٠°م) ، تكون إذابة كربونات الكالسيوم أقل من ٥ جزء في المليون ككربونات كالسيوم ، ايدروكسيد المغنسيوم اكثر قليلا عن واحد جزء في المليون . كبريتات الكالسيوم الملح الوحيد الذي يكون ترسيبات من بين أملاح عسر الغير كربونات ، يتبع نفس النظام في الإذابة . فعند ضغط ٣٢٢ رطل /البوصة المربعة (٢٢,٦ كجم/سم٢) تكون إذابته مكافئة لأربعين جزء في المليون كربونات كالسيوم .

تحدث الترسيبات (Scales) عندما تتحول هذه الأملاح من المحلول المشبع محليا إلى بلورات . تكون مياه التغذية طبقة رقيقة على طول أسطح الماسورة وتصبح مشبعة ، وخاصة في حالة تحرك المياه بسرعة بطيئة . بالتالي فان إذابة أملاح الكالسيوم والمغنسيوم تزداد أولا في هذه الطبقة الرقيقة ، والنتيجة هو بلورات الراسب على سطح التسخين مباشرة ، حتى في حالة زيادة إذابة الأملاح المكونة للترسيبات في مياه الغلاية نفسه .

في حالة الغلاية ذات ماسورة اللهب ، تكون الغازات الساخنة نتيجة الاحتراق داخل المواسير ، بينما مياه الغلاية وترسيب الترسيبات على السطح الخارجي

للماسورة . في حالة الغلاية ذات ماسورة المياه تكون الترسيبات داخل المواسير . الترسيبات تشكل مشكلة في تشغيل الغلاية نظرا لما لها من قدرة توصيل منخفضة . فهي تعمل كطبقة رقيقة مؤثرة في العزل عبر ممر الانتقال الحراري من الغازات الساخنة إلى مياه الغلاية . مع زيادة تكون الترسيبات يزداد تأثير العزل الحرارى . في حالة عدم منع حدوث الترسيبات أو تنظيفها فإنها تستمر في الزيادة حتى الزيادة عن درجة حرارة المعدن الآمنة . وهذا الارتفاع في درجة حرارة يسبب تلف الماسورة . هذا بجانب الخفض في الكفاءة الكلية للغلاية نظرا لأن الترسيبات تعمل على خفض الانتقال الحرارى بنسبة ١٠-١٢% . سمك الترسيبات ١/٨ بوصة (٣ مليمتر) يمكن ان يتسبب في فقد لكفاءة الغلاية بنسبة ٢-٣% .

المصدر الآخر لترسيبات الغلاية هو السيليكا ، حيث توصيلها الحرارى منخفض جدا بما يحدث تلف للماسورة حتى في حالة السمك الصغير جدا . ولكن في حالة الغلايات ذات الضغط المنخفض والمتوسط ، يمكن عادة تجنب السيليكا الصلبة الزجاجية وذلك بالمحافظة على النسبة الملائمة للقلوية والسيليكا ، بما يجعل السيليكا في المحلول ولا ترسب .

الإجراءات الوقائية : Preventive Measures

يمكن تجنب تكوين الترسيبات بإزالة أو خفض الكالسيوم والمغنسيوم قبل وصول مياه التغذية إلى الغلاية (معالجة خارجية) أو بإضافة كيماويات إلى مياه الغلاية مثل الفوسفات ، أو مواد عضوية أو هلامية .. الخ(Phosphates , Organics , Colloids) حيث العسر المسبب للترسيبات يتحول إلى رواسب عالقة (Sludge) وهذه هي المعالجة الداخلية .

إزالة العسر بالتبادل الأيوني : Ion Exchange Softening

في حالة الغلايات ذات الضغط المنخفض تتم عملية إزالة العسر عادة لمياه تغذية الغلاية بالتبادل الكاتأيوني للصوديوم (Sodoim Cation Exchange) . الميزة الرئيسية لهذه الطريقة هي الإزالة الكاملة للكالسيوم والمغنسيوم بالإضافة إلى سهولة التشغيل . أملاح الصوديوم المنتجة أكثر إذابة عن أملاح الكالسيوم والمغنسيوم ولهذا

ينخفض إلى ادني حد حدوث الترسيبات . ولكن الشيء الذي لا يمكن أن يؤديه إزالة العسر هو الخفض القلوية لمحتوى المياه من الأملاح الكلية والذي يكون من ضروري أحيانا للأداء الجيد للغلاية .

في حالة الرغبة في خفض القلوية يمكن استخدام الآتي :

- المتعادل الجزئي (Partianal Neutralization) للقلوية للمياه التي أزيل عسرها بحامض .
- عملية متسلسلة من تبادل كاتأيون الصوديوم وآن أيون الكلوريد .
- المعالجة الجزئية (لجزء من التدفق) بتبادل كاتأيوني الهيدروجيني بالصوديوم .

الطريقة الثالثة هي التي تعمل على خفض المحتوى الكلي من الأملاح الصلبة مقابل الخفض في القلوية .

مركبات الغلاية : Boiler Compounds

يستخدم كثيرا من مركبات الغلاية للمعالجة الداخلية . من بين هذه المركبات الصودا الكاوية ، الفوسفات (Phosphates) وأنواع مختلفة من المواد العضوية والتي تعمل كمواد هلامية نشطة (Reactive Colloids) . وعموما يمكن تقسيم أداء مركبات الغلاية إلى قسمين .

- خفض العسر بالأداء الكيميائي ، حيث المستخدم عادة في ذلك هو فوسفات الصوديوم . عند دخول أي من أملاح الفوسفات إلى الغلاية فإنها تتحول إلى الفوسفات ثلاثي الصوديوم (Trisoduim phosphate) ، كراسب في حالة زغبات عالقة . أملاح المغنسيوم ترسب بواسطة القلوية (Caustic Alkaliity) في شكل ايدروكسيد المغنسيوم الغير مذاب .
- الأداء الميكانيكي يمنع الترسيبات العالقة (Sludge) بهدف تغطية الترسيبات لمنع التصاقها مع بعضها البعض . بمجرد تكون هذه الترسيبات فإنها يجب أن تظل سائلة نظرا لأن كلا من الفوسفات ثلاثي الكالسيوم وايدروكسيد المغنسيوم (Tricalcuim phos phate & Magnesuim Hydroxide) . يمكن كذلك أن تلتصق بسطح التسخين . توجد بعض المواد العضوية المختارة المحافظة على هذه الحالة

السائلة .

حتى في حالة المعالجة الخارجية لمياه التغذية للغلاية فإنها تتطلب معالجة داخلية لإزالة العسر المتبقى ، السيليكا ، الأكسجين ، والملوثات الأخرى .

تنفذ المعالجة الداخلية فقط عادة عند عمل الغلايات عند الضغط المنخفض أو عندما تكون مياه التغذية للغلاية من تكثيف البخار . الغلايات التي تعمل بالضغط المتوسط أو المرتفع تحتاج إلى معالجة مزدوجة .

الصرف (Blow down) :

نظرا لأن كل المواد الصلبة المذابة أو العالقة التي تدخل أو ترسب في الغلاية تظل في المواسير أو جسم الغلاية ، ومع استمرار الإضافة أو التعويض يزداد التركيز . هذا التركيز يستمر إلى الحد الذي يكون فيه أداء الغلاية غير مرضي أي النقطة الذي يحدث عندها حمل لمادة المياه أو المواد الصلبة (Priming and Foaming) . حمل الميله مع البخار إلى الخارج يسمى (Priming) ، أما عمل الفقاعات إلى الخارج فهو (Foaming) . سواء حمل المياه أو الفقاعات أو كليهما ينتج عنه حمل المواد الصلبة والرطوبة في البخار . التركيز النوعي الذي عنده يحدث هذا يختلف طبقا لكمية ونوع المواد الصلبة المذابة ووجود وعدم وجود المواد العالقة .

الجدول (٢/١) يوضح الحدود الموصى بها بواسطة رابطة صناع الغلايات الأمريكية بالنسبة لضغط التشغيل التأكيد الحصول نوعية جيدة من البخار . من الواضح أنه مع زيادة ضغط التشغيل للغلاية ، تزداد الحاجة إلى إزالة المواد الصلبة الكلية في مياه التغذية لتحقيق اقتصاديات التشغيل . بالنسبة للغلايات التي تعمل بضغط يزيد عن ٦٠٠ رطل/البوصة المربع (٤٢ كجم/سم^{٢}) فانه يلزم الإزالة الكاملة للأملاح من مياه التغذية للغلايات .

جدول (٢/١) حدود التركيز لمياه الغلاية الموصى بها بالنسبة لضغط التشغيل لتأكيد الحصول على بخار بنوعية جيدة

ضغط التشغيل رطل/بوصة مربع	كجم/سم٢	إجمالى المواد الصلبة جزء في المليون	القلوية الكلية جزء في المليون كربونات الكالسيوم	المواد الصلبة العالقة جزء في المليون	السليكا ، جزء في المليون مقيمة SiO_2
صفر-٣٠٠		٣٥٠٠	٧٠٠	٣٠٠	١٢٥
٣٠١ ٤٥٠	–	٣٠٠٠	٦٠٠	٢٥٠	٩٠
٤٥١ ٦٠٠		٢٥٠٠	٥٠٠	١٥٠	٥٠
٦٠١ ٧٥٠		٢٠٠٠	٤٠٠	١٠٠	٣٥
٧٥١ ٩٠٠	–	١٥٠٠	٣٠٠	٦٠	٢٠
٩٠١ ١٠٠٠	–	١٢٥٠	٢٥٠	٤٠	٨
١٠٠١ ١٥٠٠	–	١٠٠٠	٢٠٠	٢٠	٢,٥
١٥٠١-٢٠٠٠	–	٧٥٠	١٥٠	١٠	١,٠
اكثر من ٢٠٠٥	–	٥٠٠	١٠٠	٥	٠,٥

حدود السليكا بنيت على أساس حدود السليكا في البخار من ٠,٢ إلى ٠,٠٣ جزء في المليون .

من الواضح انه مع زيادة الضغط لتشغيل الغلاية يلزم إزالة إضافية للمواد الصلبة المذابة في مياه التغذية وذلك للتشغيل الاقتصادي . بالنسبة للغلايات التي تعمل بضغط اكثر من ٦٠٠ رطل /البوصة المربعة (٤٢ كجم/سم^{2}) يلزم الإزالة الكاملة لمياه التغذية .

الطريقة المستخدمة عادة لخفض العسر وخفض القلوية هو الربط بين التبادل الكاتأيوني للهيدروجين مع (١) التعادل بقلوي ، (٢) التعادل بمياه خام أو (٣) الخلط مع المياه الناتجة من التبادل لأيون الصوديوم . هذه الطرق تمكن من الحصول على مياه تغذية ذات درجات مختلفة من العسر وأي قلوية مطلوبة محددة مسبقا . هذه العمليات لها المرونة الكافية لتناسب معظم الغلايات ذات الضغط المتوسط .

- معالجة المياه بتبادل كاتايون الهيدروجين : Treatment of Hydrogen Cation Exchange

المياه المنتجة بتبادل كاتأيون الهيدروجين تحتوى على كميات مختلفة من ثاني أكسيد الكربون ، حامض الكبريتيك ، حامض النيتريك ، حامض الهيدروكلوريك . بينما يمكن التخلص من ثاني أكسيد الكربون في جهاز إزالة الغازات (Degasification) إلا أن حامض الكبريتيك وحامض الهيدروكلوريك لا يزالا بهذه الطريقة . يلزم معادلة هذه الأحماض لتجنب تآكل المعدن في وحدة المعالجة بفعل الحامض . كلا من حامض الكبريتيك ، الهيدروكلوريك ، النيتريك يمكن إزالتهم بالتبادل الآن أيوني وبذلك تحدث إزالة لملوحة المياه أو التعادل مع قلوي من المياه المنتجة من مبادل كاتأيون الصوديوم أو في بعض الحالات بالمياه التي لم تعالج (Raw Water) .

- عملية تبادل كاتايون الهيدروجين زائد الصودا الكاوية :

The Hydrogen Cation Exchange Plus Caustie Soda:

في هذه الطريقة تشمل العمليات وحدات تبادل ، وحدة إزالة الغازات ، التغذية بالصودا الكاوية . الحامض الناتج من المبادل يمر خلال وحدة إزالة الغازات لإزالة ثاني أكسيد الكربون . يتم خلط الصودا الكاوية مع المياه الخارجة من جهاز إزالة الغازات لمعادلة أحماض الكبريتيك والهيدروكلوريك والنيتريك . طريقة التعادل هذه تستخدم للمياه ذات التركيز المنخفض للكبريتات والكلوريدات والنترات . حيث التركيزات العالية لهذه الآن أيونات يستهلك كمية كبيرة من الصودا الكاوية وبذلك تصبح العملية غير اقتصادية .

- طريقة خلط المياه الناتجة من دورة تبادل الهيدروجين مع أي من المياه اليسر بتبادل الصوديوم أو المياه الخام هي عادة المفضلة .

في أي من هاتين الطريقتين فان كمية المياه التي يتم خلطها تحسب على أساس القلوية النهائية المطلوبة . معدل التدفق المطلوب يساوي إجمالى معدل التدفق بعد الخلط ونسبة هذه التدفق الكلي الذي يلزم معالجته في مبادل الهيدروجين الكاتأيوني يمكن حسابها بالمعادلة الآتية :

$$\%HR = 100\times\frac{A\quad B}{A+C\quad D}$$

حيث :

% HR = نسبة الماء المطلوب معالجتها في وحدة الهيدروجين .

A = القلوية الكلية للمياه الخام مقيمة ككربونات كالسيوم .

B = القلوية المطلوبة في المياه المخلوطة مقيمة ككربونات كالسيوم .

C = الحموضة النظرية للمياه الخام (إجمالى أيونات الكلوريد ، الكربيتات ، النترات مقيمة معا ككربونات كالسيوم) .

D = التسرب الكاتأيوني من وحدة تبادل الهيدروجين .

- عملية تبادل كاتأيون الهيدروجين زائد المياه الخام :

- The Hydrogen Cation Exchange Plus raw Water Process:

في الحالات المطلوب فيها خفض القلوية إلى مستوى معين وكذلك الإزالة الجزئية (وليست الكلية) للعسر ، فان المياه المنتجة من مبادل كاتأيون الهيدروجين تخلط مع كمية كافية من المياه (الغير معالجة) ليمكن القلوية البيكربونات الموجودة بها معادلة الحموضة وتوفير الزيادة المطلوبة في القلوية . يمرر المخلوط عندئذ خلال جهاز إزالة الغازات (Degasifier) . المياه الغير معالجة يتم خلطها مع المياه المنتجة من مبادل كاتأيون الهيدروجين قبل جهاز إزالة الغازات وذلك لخفض ثاني أكسيد الكربون الناتج عن التعادل وكذلك الناتج عن تبادل كاتأيون الهيدروجين إلى الحد المقرر للتجاوز .

رغم أن استخدام هذه الطريقة محدود إلا أنها استخدمت في بعض التطبيقات الصناعية حيث المياه الغير معالجة تحتوى على بيكربونات صوديوم بنسبة مرتفعة وعسر منخفض جدا .

- عملية تبادل كاتأيون الصوديوم والهيدروجين :

تنظيم المعالجة في هذه العملية يتكون من (١) وحدات تبادل كاتأيون الهيدروجين (٢) وحدات تبادل أيون الصوديوم ، (٣) جهاز إزالة الغازات ، كما في حالة التعادل بالمياه الغير معالجة يستخدم جهاز إزالة الغازات لإزالة الكربونات من

المياه التى تعادلت . المخلوط من تبادل كاتأيون الهيدروجين وتبادل أيون الصوديوم من جهاز إزالة العسر يتم إزالة الكربونات منه (Decarbonated) بإزالة ثاني أكسيد الكربون الذي تكون أثناء عملية التعادل (Neutraliztion) والناتج عن عملية تبادل كاتأيون الهيدروجين . باستخدام المياه المزال عسرها لمعادلة المياه المنتجة من تبادل كاتأيون الهيدروجين يوفر خليط نهائي من المياه ليس فقط منخفض القلوية ولكن كذلك تام إزالة العسر .

تدفق المياه من كل وحدات التبادل يتم ضبطه ليكون المحتوى من بيكربونات الصوديوم كافي لمعادلة الحموضة لتدفقات المياه من وحدات تبادل كاتأيون الهيدروجين. وكذلك توفير الزيادة المطلوبة من القلوية . نسبة المياه اللازم معالجتها في وحدات الهيدروجين يمكن حسابها باستخدام المعادلة السابقة .

التآكل : Corrosion

الغلايات ، سخانات المياه الداخلة ، المواسير ، جميع مكونات إنتاج البخار يجب حمايتهم من التآكل والتآكل الثقبي . تآكل نظم إنتاج البخار يحدث عادة عندما تكون مياه الغلاية حامضية أو عند وجود أكسجين مذاب أو ثاني أكسيد الكربون .

إجراءات منع التآكل : تظل المحافظة على مياه التغذية للغلايات في الحالة القلوية وذلك لمنع حدوث التآكل الحامضي . ثاني أكسيد الكربون والأكسجين يمكن إزالتهم باستخدام سخانات إزالة الهواء (Dearating heatars) ونظم تبادل أيوني خاصة . ولتأكيد الحماية الكاملة من التآكل يستخدم كبريتيد الصوديوم أو الهيدرازين (Soduim Sulphite or Hydrazine) عادة وذلك مع استخدام سخانات إزالة الهواء . يتم التغذية بهذه الكيماويات في حوض التخزين لجهاز إزالة الغازات .

خفض القلوية : Deaqlkalizers

تستخدم خفض القلوية أساسا لمياه التغذية للغلايات ذات الضغط المتوسط والضغط المنخفض . الهدف الرئيسي هو خفض ثاني أكسيد الكربون في البخار والذي هو السبب الرئيسي لتآكل خطوط مواسير التغذية بمياه البخار المكثف.

نظرا لأن معظم الغلايات مزودة بسخانات إزالة الهواء والتي تزيل ثاني أكسيد الكربون ، إلا أن كمية ثاني أكسيد الكربون في البخار يحكمها ثاني أكسيد الكربون الموجود في قلوية الكربونات والبيكربونات والذي يسمى ثاني أكسيد الكربون المتحد (Bound CO_2) ، حيث يمكن ان يتكون ثاني أكسيد الكربون نتيجة تحلل قلوية الكربونات والبيكربونات عند درجة حرارة تشغيل الغلاية .

التفاعلات القلوية : Basic Reactions

عند تمرير المياه المحتوية على أيون البيكربونات (HCO_3) خلال دورة راتنج الكلوريد الآن أيوني شديد القلوية ، يحدث التفاعل الآتي . حيث قلوية البيكربونات في الماء

$$HCO_3 + R_4NCl \longrightarrow R_4NHCO_3 + Cl^{/}$$

تستبدل بأيونات الكلوريد وبزا يحدث إزالة للقلوية (dealkalization) . في هذه العملية كل الآن أيونات عدا لكلوريدات يحدث لها تبادل .

المياه العسر عادة لا تمرر خلال وحدة الآن أيون التي تعمل بدورة الكلوريد ، حيث يمكن أن ترسب في طبقة الراتنج كربونات الكالسيوم أو أيدروكسيد المغنسيوم . لهذا فان إزالة القلوية يسبقها إزالة العسر بالتبادل بكاتأيون الصوديوم .

- **تنشيط وحدة إزالة القلوية :** Dealkalizer Regeneration

التقليدي في التنشيط هو بالتبادل الكاتأيون باستخدام كلوريد الصوديوم . التنشيط بتبادل الآن أيون ، حيث التفاعلات كالآتي :

الموضح هو تفاعل HCO_3^- وهو نفسه الذي يحدث لـ CO_3^{2} ، NO_3 ، SO_4^{2}

$$RNHCO_3 + NaCl \longrightarrow R_4NCl + NaHCO_3$$

عند التصميم لعملية إزالة القلوية يستخدم ٣,٥ رطل من كلوريد الصوديوم/القدم المكعب من الراتنج الآن أيوني شديد القلوية . الطريقة التبادلية للتنشيط هو باستخدام ٣,٥ رطل من كلوريد الصوديوم زائد ٠,٣٥ رطل من الصودا/القدم المكعب من الراتنج . استخدام الصودا الكاوية زائد الملح لمياه معينة ينتج عنه زيادة طاقة لتبادل . محتوى المياه من ثاني أكسيد الكربون يختلف إلى حد ما عند استخدام الصودا الكاوية مقارنة باستخدام كلوريد الصوديوم فقط .

عند استخدام الملح فقط في التنشيط للراتنج ، يبدو أن بعض البيكربونات الذي يحدث لها تبادل بواسطة الراتنج تتحول إلى الكربونات . وهذا ينتج عنه بعض من ثاني أكسيد الكربون الحر كالآتي :

$$HCO_3^- + R_4NCl \rightleftharpoons R_4NHCO_3 + Cl'$$

$$HCO_3^- + R_4NCl \rightleftharpoons R_4NHCO_3 + H_2O + CO_2$$

ثاني أكسيد الكربون الحر في المياه المنتجة سيكون أعلا منه في المياه قبل المعالجة بالراتنج ببعض أجزاء في المليون نظرا لإضافة ثاني أكسيد الكربون الناتج .

أما عند استخدام الصودا الكاوية بالإضافة إلى الملح في عملية التنشيط ، فانه يتوفر في راتنج الآن أيون مجموعات الهيدروكسيد بالإضافة إلى مجموعات الكلوريد . النتيجة في أن أي من ثاني أكسيد الكربون في المياه الخام بالإضافة إلى ثاني أكسيد كربون الذي يمكن ان ينطلق من البيكربونات تؤخذ بواسطة مجموعات تبادل الهيدروكسيد على الراتنج . مجموعات تبادل الكلوريد على الراتنج بالمثل لا تأخذ أي من ثاني أكسيد الكربون هذا . التفاعل التالي يحدث سواء في المياه الخام او نتيجة تحلل البيكربونات .

$$H_2O + CO_2 \longrightarrow H_2CO_3$$
$$H_2CO_3 + R_4NOH \longrightarrow R_4NHCO_3 + H_2O$$

مجموعة الهيدروكسيد تقوم كذلك بدور في تحديد نوع تسرب القلوية (Alkalinity Leakage) ولكن ليست الكمية من وحدة الآن أيون . إجمالى التسرب للقلوية هو نفسه سواء استخدام الملح أو الملح والصودا الكاوية . عند استخدام الملح فقط فان كل التسرب من القلوية يكون البيكربونات . أما عند استخدام الملح والصودا الكاوية يكون التسرب خليط من الكربونات والبيكربونات . من المفترض حدوث هذا المخلوط بسبب استبدال بعض مجموعات الهيدروكسيد من الراتنج بآن أيونات أخرى سواء بيكربونات أو كبريتات ... الخ كما في حالة إزالة الملوحة التقليدية . أيون الهيدروكسيد الحر هذا يتفاعل بالتالي إما مع ثاني أكسيد الكربون أو البيكربونات في الماء مكونا البيكربونات. معظم تلك البيكروبنات تؤخذ بواسطة التبادل الأيوني في طبقة الراتنج ،

ولكن بطبيعة الحال البعض يتسرب ويظهر في المنتج النهائي (المياه المعالجة) .

نظرا لأن الكربونات و/أو أيونات الهيدروكسيد يمكن أن تظهر في نظام تبادل الآن أيون ، فان المطلوب هو التغذية فقط بمياه خالية من العسر لجهاز إزالة القلوية لتجنب أي احتمال الترسيبات كربونات الكالسيوم أو هيدروكسيد المغنسيوم .

نوعية المياه المعالجة بجهاز إزالة القلوية : Deakalizer Effluent Quality

يتغير المحتوى من ثاني أكسيد الكربون الحر في المياه المعالجة حسب نوع دورة التنشيط المستخدمة . التنشيط باستخدام الملح فقط ينتج مياه ذات محتوى من ثاني أكسيد الكربون أكثر من المياه قبل المعالجة بحوالي ١٠-١٥ جزء في المليون . أما عند استخدام الملح والصودا الكاوية في التنشيط فان محتوى المياه من ثاني أكسيد الكربون يكون صفرا تقريبا . الخفض الكلي في السيليكا هو حوالي ٥٠% .

إزالة الهواء : Deareation

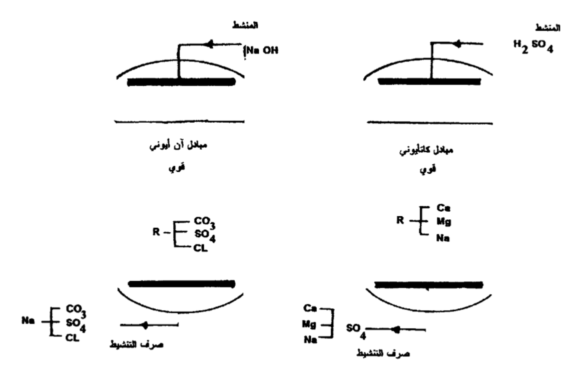
عملية إزالة الهواء تتم لإزالة الغازات المذابة مثل ثاني أكسيد الكربون والأكسجين من الماء كالآتي :

(١) تسخين الماء إلى درجة حرارة الغليان في ظروف ضغط العملية (ظروف التشبع).

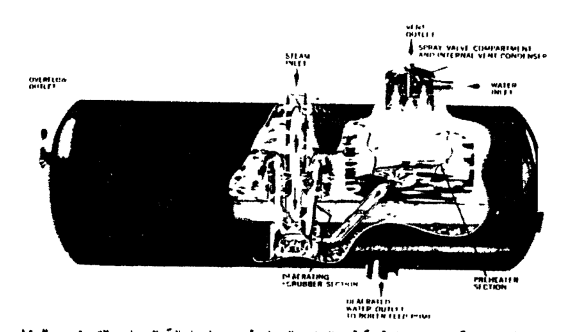
(٢) استخدام معدة مناسبة التصميم لعمل الخلط الجيد .

(٣) توفير وسيلة صرف الغازات المنطلقة .

الأهمية الأولى لهذه العملية هو لإزالة الغازات التي لا تتكثف من مياه التعويض المستخدمة لتغذية الغلاية ، وكذلك من المياه الناتجة عن التكثيف للبخار . إزالة الأكسجين وثاني أكسيد الكربون الحر يحمي المواسير والطلمبات وخطوط مواسير البخار من التآكل بفعل الغازات المذابة . نظرا لأن إذابة الأكسجين وثاني أكسيد الكربون والنيتروجين هو صفر عند درجة حرارة الغليان ، فان المياه يمكن أن تتخلص من الهواء المذاب وثاني أكسيد الكربون بالغلي وتصريف (Venting) الغازات



شكل (٢/٧) تنشيط المبادل الأيوني



شكل (٢/٨) إزالة الغازات المذابة في الماء بالبخار في جهاز إزالة الهواء بالتسخين بالبخار

كيمياء التآكل : (The Chemistry of Corrosion)

توجد نظريات مختلفة لشرح التآكل للمعادن ، ولكن التآكل الكهروكيميائي هو المقبول.

حيث أنها معقدة إلى حد ما ولكن يمكن تبسيطها كالآتي :

عند التصاق الحديد أو الصلب بالماء ، فان أيون الحديدوز يدخل إلى الماء تاركا خلفه الإليكترونات خلفه على المعدن .

$$Fe \text{ (المعدن)} \longrightarrow Fe^{+2} + 2e^{/}$$

الموقع حيث المعدن يتركه وينتقل الى المحلول هو منطقة الآنود . يمكن ان تحدث حالة من الاتزان ما بين تركيز أيون المعدن في الماء وتركيز الإليكترونات في المعدن. عند هذه النقطة يتوقف التآكل ، شريطة ألا يحدث اضطراب حالة الاتزان هذه، ولكن هناك عدة عوامل تعمل على حدوث هذا الاضطراب. أي شيء يعمل على إزالة أو تعادل أما أيونات المعدن في المحلول أو الإليكترونات في المعدن أو كليهما، سيسبب استمرار عملية التآكل. أحد هذه العوامل هو أيونات الهيدروجين (H^+) في الماء التي تتفاعل مع الإليكترونات وتزيلها. وهذا يزيد من تحويل الحديد (Fe) إلى المحلول لملئ الفراغ في الإليكترونات .

$$2H^+ + e^{/} \longrightarrow H \text{ (هيدروجين ذري)}$$

$$2H \longrightarrow H_2 \text{ جزئ هيدروجين}$$

المعادلة الأخيرة تتم بسرعة جدا نظرا لانخفاض إذابة الهيدروجين الجزيئي في الماء . وكذلك يمكن حدوث اضطراب للاتزان بإزالة أي من الهيدروجين الذري أو الجزيئي . في حالة استمرار حالة الاتزان فان الهيدروجين الذري يكون غطاء رقيق أو طبقة رقيقة على سطح الكاثود (المنطقة حيث تترك الإليكترونات المعدن لتتفاعل مع أيونات الهيدروجين) . هذا الغطاء من الهيدروجين الذري يمنع الإليكترونات من ترك المعدن ، وبزا تتوقف عملية التآكل . ولكن نظرا لسهولة إزالة الهيدروجين الذري بالاتحاد مع كيماويات أخرى في الماء أو بتكوين الهيدروجين الجزيئي والذي يتفاعل بالتالي .

تكون طبقة من الهيدروجين الذري على سطح الكاثود يسمى الاستقطاب (Ploarization) وإزالة الاستقطاب (Depolarization) تتم بإزالة طبقة الهيدروجين والتي تتم عادة بواسطة الأكسجين المذاب .

$$2H_2 + O_2 \longrightarrow 2H_2O$$

وبزا ينشط التآكل لمعدن الحديد على سطح الآنود . يتفاعل أيون الحديد Fe^{+2} مع أيونات $OH^/$ الموجودة في الماء . حيث يتكون أيدروكسيد الحديدوز الذي يذوب في الماء .

$$Fe^{+2} + 2OH^/ \longrightarrow Fe(OH)_2$$

ثاني أكسيد الكربون ينشط عملية التآكل كذلك ، حتى في حالة عدم وجود الأكسجين . ذلك لأنه يعمل على خفض الرقم الهيدروجيني أي إيجاد مصدر لأيونات الهيدروجين الذي تتفاعل مع الإليكترونات .

$$CO_2 + H_2 \longrightarrow H_2CO_3 \longrightarrow H^+ + HCO^/_3$$

كذلك فان ثاني أكسيد الكربون يعمل على تنشيط تآكل الأكسجين . عند وجود كلا الغازين في نفس المحلول ، فانهما يسببا تآكل أكثر من وجود أيهما بنفس حجم هذه الغازات .

قانون دالتون ينص على أن الضغط الكلي لخليط من الغازات يساوي مجموع الضغط الذي ينتجه كل غاز الموجود في نفس الحجم الذي يشغله المخلوط .

قانون هنرى ينص على أن تركيز الغاز المذاب في المحلول يتناسب مع الضغط الجزيء للغاز في الفراغ (Free Space) خارج المحلول . الاستثناء هو في حالة تفاعل الغاز مع السائل .

بناء على المبادئ التي ذكرت في القوانين السابقة ، يكون من الواضح أن الغازات المذابة يمكن إزالتها من الماء بخفض الضغط الجزئي لأي غاز في المجال الجوى المحيط (بصرف النظر عن الضغط الكلي) . أبسط الطرق لهذا هو يعمل فقاعات من غاز آخر خلال الماء أو برش الماء في اتجاه معاكس لغاز آخر ، هذا بالإضافة إلى أن الغاز يجب أن ينصرف بحريه خلال هذا النظام . التطبيق العملي لهذا المبدأ هو إزالة ثاني أكسيد الكربون من الماء بدفع الهواء في الاتجاه المعاكس لسقوط المياه كما في حالة جهاز إزالة الغازات (Degasifier) .

يمكن إزالة الأكسجين المذاب بهذه الطريقة ولكن لا يستخدم الهواء وذلك لأنه غني بالأكسجين (٢٠%) حيث لا يمكن خفض الضغط الجزئي للأكسجين بما فيه

الكفاية .

الطريقة المناسبة لإزالة الأكسجين المذاب هو باستخدام البخار كغاز لعملية الكسح (Scrubbing) . ويتم التنفيذ بالطرق الآتية :

(١) الفصل الميكانيكي للغاز عند الوصول إلى حالة الغليان (حالة التشبع) . في هذه الحالة كل الغازات الغير متحدة كيميائيا تصبح غير مذابة .

(٢) تخلص المحلول من الغازات إلى الهواء الجوي باستخدام سخانات التخلص من الهواء (Deaerating heaters) والتي تشمل .

أ – سخانات الرش حيث ترش المياه في جو من البخار ثم تمرر خلال جهاز غسيل الغاز (Scrubber).

ب – الصواني الساخنة (Tray heater)

حيث تتدفق المياه إلى اسفل على عدة صواني في جو من البخار .

كلا الطريقتين يمكنهم خفض الأكسجين إلى اقل من ٠,٠٠٥ سم٣/لتر وخفض ثاني أكسيد الكربون إلى الصفر .

نموذج لعملية الرش : Typical Spray Operation

المياه الباردة تدخل أولا حجرة محبس الرش حيث يوجه التدفق بواسطة محابس الرش من الصلب المقاوم في أشكال قمعية خلال تصريف (Vent) المكثف من الصلب المقاوم بالاتصال المباشر الداخلي إلى جو البخار في وحدة التسخين المسبق (Prehcater Section) . هنا معظم الغازات العدوانية يتم إزالتها قبل تلامس المياه لأي سطح من الصلب . هذه المياه الساخنة والمزال الهواء منها جزئيا تمر عندئذ من وحدة التسخين المسبق إلى وحدة إزالة وغسيل الهواء بالبخار (Deaerating Steam Scrubbing Section). البخار الخالي من الأكسجين يوجه بالتساوي إلى وحدة توزيع البخار بالتساوي . الزيادة الكبيرة في البخار تتصادم بسرعة عالية مع المياه الساخنة المزال الهواء منها جزئيا حيث يحدث خلط عنيف وغسيل للغازات ، حتى في حالات التحميل المنخفض جدا . هذا الأداء يغسل ميكانيكيا الآثار المتبقية الأخيرة من الغازات الغير قابلة للتكثيف إلى خارج المياه السابق تسخينها .

المياه المزال الهواء منها تصرف من أعلا وحدة الغسيل بالبخار حيث ينفصل البخار منها ويمر إلى وحدة التسخين المسبق وتستمر الدورة . يتم تكثيف البخار المنصرف في الالتصاق المباشر مع كمية صغيرة من البخار الذي ينصرف إلى الجو لحمل الغازات التى لا تتكثف المنطلقة من الماء . ويتم ذلك في مكثف من الصلب المقاوم أسفل حجرة محبس الرش من وحدة التسخين المسبق . قبل الصرف إلى الجو .

معايير التصميم للرش Spray Design Parameters

يوجد معيارين لتصميم جهاز إزالة الهواء بالرش وهما :

(١) كمية المياه المطلوب إزالة الهواء منها .

(٢) احتياجات التخزين للمياه بعد إزالة الهواء منها .

تؤثر كمية المياه المزال الهواء منها على حجم محابس الرش ونوع غسيل الغازات المطلوب . فمثلا محابس الرش تتراوح ما بين ٥٠ جالون في الدقيقة أو ٢٥٠٠٠ رطل في الساعة . وبزا تكون كمية المياه المطلوب إزالة الهواء منها تحدد عدد محابس الرش .

تصميم جهاز غسيل الغازات (Scrubber) يتأثر كذلك بالطاقة . حيث يستخدم غسيل الغازات بنظام تصميم الفنشوري (Venture) حتى ٣٠٠٠٠٠ رطل/الساعة واكثر من ذلك يستخدم جهاز غسيل الغازات بالشكل المستطيل والذي يشمل كذلك عوائق (Baffles) . احتياجات التخزين عادة من ٢ إلى ١٠ دقيقة ومعايير التصميم تستخدم أي منها .

إزالة عسر المياه المكثفة : Condensate Softening

تستخدم أجهزة إزالة العسر للمياه المكثفة عادة في حالة المياه المكثفة عندما يكون ضغط الغلاية متغير حتى ١٢٠٠ - ١٤٠٠ رطل/البوصة المربع (٨٤,٣٦-٩٨,٤٢ كجم/سم٢) .

(عادة يستخدم البخار من هذه المحطات لأغراض صناعية مختلفة غير الاستخدام في إنتاج الطاقة) .

الغرض من إزالة العسر للمياه المكثفة هو لإزالة كلا من المواد العالقة والمذابة من النحاس والحديد وكذلك العسر ليمكن إعادة استخدام هذه المياه لتغذية الغلايات . لا تعتبر المواد الصلبة المذابة ذات أهمية بالنسبة للمياه المكثفة من الغلايات التي تعمل بضغط حتى ١٢٠٠ ١٤٠٠ رطل/البوصة المربعة . أما في حالة معالجة المياه المكثفة في محطات إنتاج الطاقة الكبيرة حيث تعاد المياه إلى مولدات البخار ذات الضغط العالي في هذه الحالة تستخدم طريقة الطبقات المختلطة (Mixed Bad) في وحدات إزالة الملوحة للمحافظة على التركيز المنخفض جدا للسيليكا والحديد والنحاس والمواد الصلبة المذابة . بالمقارنة فان نوعية المياه في حالة الغلايات ذات الضغط المنخفض ليست بحاجة إلى ذلك ، مواد الإنشاء أقل عرضة ، تلوث البخار أو المياه المكثفة محتمل إلى حد كبير . فمثلا منسوب التلوث يمكن أن يصل إلى .

المواد الصلبة المذابة	٣ – ٥ جزء في المليون
العسر	حتى ١,٧ جزء في المليون
الحديد والنحاس	٠,٠٢ – ١ جزء في المليون

تركيز الحديد – النحاس يختلف كثيرا من غلاية إلى أخرى . كذلك فان نسبة كلا من الحديد والنحاس العالق غير المذاب له أهمية خاصة حيث يؤثر على تصميم المعدات .

إزالة عسر المياه المكثفة يتم بأحد الطرق الآتية :

(١) تمرير المياه المكثفة أولا خلال مرشح لإزالة الحديد العالق ثم إلى جهاز إزالة العسر .

(٢) المياه المكثفة تمرر مباشرة بدون ترشيح إلى جهاز إزالة العسر حيث يتم إزالة العسر والترشيح في ان واحد وهذه هي الطريقة السائدة. ولكن في هذه الحالة يكون طبقة الراتنج مغطاة بالحديد والذي لا يزال بالغسيل أو في أثناء عملية التنشيط بما يتطلب التنظيف باستخدام الكيماويات .

أسلوب التنشيط في تصميم جهاز إزالة العسر للمياه المكثفة له طريقتين وهما الطريقة التقليدية أو بالتنشيط الخارجي . في حالة التنشيط الخارجي يتم سحب الراتنج

من الجهاز ويتم التنشيط و/أو التنظيف الكيميائي في حوض منفصل . يكون معدل التدفق من ٢,٥ - ٣ ضعف معدل تدفق التشغيل ، كما يستخدم راتنج ذو حجم حبيبات أكبر لتقليل الانخفاض في الضغط .

في هذه الحالات حيث تستخدم المياه الباردة في الغسيل والتنشيط ، يوصف استخدام راتنج له صفة التشابك المتقاطع العالية (Higher Cross Linked) . ويكون ذلك ضروري نظرا لأن الاستخدام المتبادل للمياه الباردة والساخنة قد يسبب صدمة حرارية مع التمدد السريع والانكماش السريع لطبقة الراتنج والذي قد يؤدي إلى تلفها . نتيجة هذا النوع من المعالجة يمكن ان تزيل من ٨٠ - ٩٠% من النحاس ومن الحديد عندما تكون جرعة الملح لا تقل عن ١٠ رطل/القدم المربع .

٥ - التطبيق التكنولوجي لنظام تدوير مياه التبريد :

تجري معالجة مياه التبريد لتجنب الترسيبات والتآكل وتكون الطحالب وتجمعات البكتريا وتأكل مادة أبراج التبريد (الخشبية أو المعدنية) . توجد طريقتين للمعالجة . الأولى تتم في المجال الحامضي وهي السائدة والثانية الحديثة هي التي تتم في بيئة قلوية لتوفير متطلبات المحافظة على البيئة .

الترسيبات : (Scales)

توجد خمسة أنواع من الترسيبات والتي يمكن ان تتكون في نظام التبريد . وهي كربونات الكالسيوم ، كبريتات الكالسيوم ، فوسفات الكالسيوم ، السيليكا ، سيليكات الماغنسيوم ، والغالب من هذه الترسيبات هي كربونات الكالسيوم ، في حالة عدم المعالجة لمياه التبريد . رغم أن هذا النوع من الترسيبات يمكن إزالته من نظام التبريد (مثل مجموعة الأنابيب) باستخدام حامض إلا أن الإزالة والنظافة المتكررة تخفض من عمر مكونات نظام التبريد . كبريتات الكالسيوم وفوسفات الكالسيوم تكون ترسيبات فقط في حالة التحكم والأداء الجيد في معالجة المياه . وهذين النوعين من الترسيبات لا يتأثرا باستخدام الحامض في النظافة بل يلزم إزالتهم من المكونات بالطرق الميكانيكية. ترسيبات السيلكا وسيلكيات المغنسيوم تحدث فقط في المياه حيث المحتوى العالي من السيليكا ، أو النسبة المرتفعة ما بين السيليكا والعسر .

ينخفض معدل التآكل في حالة المعالجة الجيدة للمياه . كما ان المعالجة البيولوجية (Biocidal) لازمة في كل نظم التبريد لخفض مشاكل النمو البيولوجي في أنظمة التبريد والذي يعمل على خفض كفاءة الانتقال الحراري وكذلك على مادة الإنشاء في حالة كونها خشبية .

(١) الطريقة الحامضية للمعالجة :

عند استخدام حامض الكبريتيك المركز بمعدل مناسب لجعل المياه عدوانية إلى حد ما وذلك للمحافظة على نظافة سطح المعدن وبما يمنع تكون الترسيبات . ثم يضاف مثبط تآكل مؤثر لحماية المعدن من عدوانية المياه . للمحافظة على خلو المياه من الترسيبات وخفض احتمالات التآكل ، فانه يلزم التحكم في الرقم الهيدروجين للماء بالتحكم في إضافة الحامض لتصبح المياه حامضية وكذلك خفض الأملاح الكلية المذابة بصرف جزء من المياه المعادة إلى الصرف والاستخدام لمثبط تآكل مناسب بتركيز مناسب مثل المثبط ذو الأساس من الكرومات (Chromate Based) .

الحامض : حامض الكبريتيك المركز (٦٦° بومي – 66° Baume) هو الأكثر تركيز والأقل تكلفة للاستخدام في ضبط الرقم الهيدروجيني في نظم المياه المغلقة . حامض الكلور العضوى (Organic Chlorine) . ميزة الكلور العضوي الإضافية هو الانطلاق البطيء للكلور في الماء مباشرة ولذا فهو أقل عرضة للتهوية . هيبوكلوريت الكالسيوم الصلب لا يوصي باستخدامه عادة كمصدر للكلور نظرا لاحتمال حدوث ترسيبات من الكالسيوم المحتوى عليه . أفضل النتائج يمكن تحقيقها عادة بالمعالجة الصدمية من آن إلى آخر ، سواء كان برج التبريد في حاجة إلى معالجة من عدمه . فترات المعالجة الصدمية حوالي أسبوع تعتبر مناسبة . وقد تتطلب خبرة التطبيق فترة أكثر أو أقل .

من المهم المعالجة الصدمية من آن إلى أخر باستخدام مطهر بيولوجي بديل مثل بنتكلوروفينات الصوديوم (Soduim Pentachlorophenate) بمعدل حوالي ٢٠ جزء في المليون . الفترات الصدمية تكون طبقا للخبرة ولكن كل شهر يكون نقطة بداية معقولة. عند توافر هذه المادة فانه يوجد عديد من المواد عند المتخصصين في تجارة

مواد معالجة المياه . يمكن تحديد خليط من مواد التطهير البيولوجي في الحالات الصعبة وذلك باختبار مادة التطهير على عينة من الكائنات الدقيقة في الحالات الصعبة وذلك باختبار مادة التطهير على عينة من الكائنات الدقيقة في المعمل لاختبار حساسيتها للمطهر . أحد الاعتبارات الهامة لأى مطهر مضاف إلى نظام تدوير مياه التبريد هو مناسبة للاستخدام مع مثبط التآكل المستخدم .

(٢) – الطريقة القلوية للمعالجة :

المعالجة القلوية لمياه التبريد ليست جديدة ، وان كانت المعالجة الحامضية كانت التكنولوجيا السائدة لنظم تبريد المياه . المعالجة القلوية انتشر استخدمها . فقبل استخدام المعالجة الحامضية بالكرومات والفوسفات ، كانت مياه التبريد تعالج بكميات صغيرة من البولي فوسفيت (Polyphosphates) ومواد عضوية طبيعية بكميات صغيرة وذلك لمنع ترسيبات كربونات الكالسيوم في شكل رواسب صلبة على أسطح التبادل الحراري. وهذا يمنع من تكون شبكة من بللورات كربونات الكالسيوم وبالتالي تكون بلورات كبيرة ملتصقة .

التحكم في الترسيبات في المياه القلوية :

كربونات الكالسيوم هي المادة التي تكون الترسيبات غالبا في مياه التبريد القلوية . ومن بين مثبطات نمو بلورات كربونات الكالسيوم المؤثرة ، وقد استخدمت مادة البولي اكريليت (Polyacrylates) لتشتيت نمو البلورات ، ومن بين مواد تثبيط نمو البللورات المواد الآتية :

(Sulphonated ligninis , Tannins , Polphosphates) .

وان كان استخدام البولي فوفسيفيت محدود لتحولها إلى الاورثوفوسفيت في درجات الحرارة المرتفعة .

وقريبا تم تطوير كيماويات للحد من الترسيبات والتي تمنع تحول البولي فوسفيت عند الظروف القلوية وارتفاع الرقم الهيدروجيني . وهذه الكيماويات الجديدة أصبحت شائعة الاستعمال في المعالجة القلوية لمياه التبريد . البولي ايسترز (Polyesters) وهو حالة من (Polyhydric Alcohol phosphate esters) . وعلى الجانب

الآخر فان الفوسفويت (Phosphonates) التي لها رباط مباشر بين الكربون والفسفور . كلا المادتين مؤثرتين في منع الترسيبات في الحالات القلوية . من المهم في تطبيقات هذه المواد المحافظة على الجرعة الكيماوية باستمرار .

في النظم القلوية ، يمكن منع الترسيبات فقط في حالة وجود كيماويات لمنع الترسيبات. في حالة عدم وجود الجرعة ولو لزمن صغير سيحدث بعض الترسيبات بما يخفض من الانتقال الحرارى . عند تكون هذه الترسيبات لا يمكن إزالتها بسهولة بواسطة كيماويات منع الترسييبات ، مما يتطلب وسائل أخرى مثل النظافة الميكانيكية أو استخدام الأحماض .

منع التآكل في النظم القلوية :

تستخدم نفس مثبطات التآكل (Corrosion Inhibition) في كل من نظم التبريد القلوية والحامضية أي الكرومات ، الفوسفات ، الزنك ، بعض الكيماويات العضوية . وقد يستخدم في بعض الأحيان السيليكات (Silicates) كمثبطات تآكل في النظم القلوية ، وكانت هناك نتائج جيدة باستخدام المواد العضوية والغير عضوية معا . ولكن فان كلا من السيليكات أو الخليط من المواد العضوية - الغير عضوية ليسا مؤثرين في الحد من التآكل مثل منتجات الكرومات (Chromate Products) .

بعض مياه أبراج التبريد يمكن أن تعالج فقط لمقاومة التآكل (وليس لمقاومة الترسيبات) عند رقم هيدروجيني أقل من ٨ وهذا تشمل استخدام منتجات الكروم . زيادة الرقم الهيدروجيني للماء من ٦ إلى ٧,٥ عادة يجعل المياه اقل عدوانية بما يمكن من استخدام جرعات اقل من مثبطات التآكل ، وكذلك يكون الحامض المطلوب أقل وبذا تقل تكلفة المعالجة .

عادة الرقم الهيدروجيني لتبريد المياه القلوي يكون عادة أعلا من ٨,٥ - في هذه الظروف يلزم التحكم في الترسيبات حيث تستخدم كيماويات التحكم في الترسيبات مع المثبطات ذات الأساس من الكرومات لتوفير برنامج كامل للمعالجة لهذه النظم .

٦ - التحكم في الترسيبات من المواد العضوية والبكتيرية (العفن) في النظم القلوية :

Fouling Control In Alkaline Systems :

مقاومة الرواسب (Deposit) أساسية في نظم تبريد المياه للمحافظة على كفاءة معدل الانتقال الحراري . ولكن مقاومة الرواسب تكون في المجال القلوي أصعب منها في المجال الحامضي . مياه التعويض (Make up Water) قد تحتوى على مواد عضوية مذابة أو مواد صلبة عالقة وكلاهما من مسببات الرواسب . وفي حالة المياه المستخدمة للتعويض من تلك المستخدمة في بعض العمليات فإنها قد تحتوى على كمية من الأكسجين الحيوي (BOD) والملوثات الميكروبية .

المياه الحامضية تذيب معظم المواد أكثر من المياه القلوية . فمثلا الترسيبات الغير عضوية مثل كربونات الكالسيوم وايدروكسيد الحديديك لا يذوبا في الماء عند رقم هيدروجيني اكبر من ٨ ، بينما في المجال الحامضي فانهما يذوبا في المياه الحامضية. المواد العضوية الهلامية يحدث لها تذويب وترسيب بسهولة في المجال القلوي (النظم القلوية) عنه في الحالة الحامضية . الرواسب البيولوجية يصعب إزالتها في النظم القلوية .

توجد مصادر متعددة لترسيب العفن في تدوير مياه التبريد . المياه الخام قد تحتوى على مواد عضوية هلامية وطمي وأجسام صلبة وحديد مذاب وكذلك ملوثات ميكروبية. الهواء الذي يدفع إلى برج التبريد قد يحتوى على أوساخ أو أن يكون ملوث بغازات نشطة مثل كبريتيد الهيدروجين ، ثاني أكسيد الكبريت ، النشادر .. الخ . المياه الدوارة قد تحتوى على رواسب من كربونات الكالسيوم ، كبريتات الكالسيوم ، أو سيليكات الماغنسيوم أو نواتج التآكل مثل درنات أكسيد الحديد . المياه الدوارة هي طبيعية المصدر الرئيسي للنمو الميكروبي . التسرب في بعض العمليات الصناعية هو من مصادر الهيدروكربونات والكبريتيدات (Hydrocarbons ; Sulphides) . الكبريتيدات يمكن أن تتفاعل مع المواد البكتيرية (Biocides) المؤكسدة وأيون الزنك المثبط للتآكل ، وقد يسبب اختزال للكرومات مع ترسيبات عفن (Fouling) إضافية . من حسن الحظ أن

معظم الكيماويات التي تحد من حدوث الترسيبات (scales) هي كذلك مانعة لحدوث تراكمات العفن (Good fouling Dis persant) . ولكن الاختيار لعامل التشتت العملي (عدم حدوث تراكمات) لنظام قلوي يعتمد على مكونات الرواسب . المواد العضوية الطبيعية والتي تشمل (Sulphonated Lignins ; Tannins) مؤثرة جدا في تشتت الأكاسيد المائية (Hydrous Oxides) والرواسب العضوية . مادة البولي اكريليت (Polyacry lates) عامل تشتت ممتاز للطمي والرمل ، أكاسيد الحديد الصلبة ، والرواسب الأخرى الغير عضوية . مواد التشتت لتركيب القشور من كربونات الكالسيوم وكبريتات الكالسيوم هي أملاح الفوسفات و(Polyolesters) . وإزالة هذه القشور أو الترسيبات تحدث بالتدريج . هذه المركبات ليست مؤثرة عموما للتنظيف السريع لأسطح الانتقال الحراري . كقاعدة عامة يكون من المفضل دائما منع تكون رواسب غير مذابة أفضل من الإزالة للرواسب المتكونة .

مواد التشتت (Dispersants) زائد كيماويات منع الترسيبات تقوم بمعالجة قلوية مؤثرة لأبراج التبريد حيث مواد التعويض تحتوى على مواد صلبة عالقة .

منع التراكم الميكروبيولجي : Microbiological Control

الترسيبات الميكروبية هي حالة خاصة لتراكم العفن في مياه التبريد . المعالجة تتطلب عادة مبيدات (Biocides) لقتل وإيقاف النمو الميكروبيولوجي ومواد تشتت (Dispersants) لتفكك وتشتت الترسيبات والعمل على طفوها . المطهر المؤثر في كل من النظم الحامضية والقلوية مازال هو الكلور . يقل تأثير الكلور عند ارتفاع الرقم الهيدروجيني (لأكبر من ٨) عنه في حالة الرقم الهيدروجيني اقل من ٧ بسبب حالة الاتزان للهيبوكلوريت . ولكن مازال مطهر مؤثر في النظم القلوية ، وهو جزء أساسي لكثير من نظم التبريد القلوية للتطهير والحد من النمو الميكروبيولجي . يوجد الكلور كغاز ، محلول هيبوكلوريت ، الهيبوكلوريت بطيء الإطلاق للكلور . توجد بعض المشاكل المصاحبة لاستخدام الكلور رغم هذا . ففي وجود الأمونيا يتكون الكلورامين (Chloramines) والتي هي مطهرات أقل تأثيرا عن الكلور الحر كما ان الكلور يتفاعل مع بعض المواد العضوية وخاص منتجات الفينول ليتكون مواد عضوية مكلورة صلبة

(hard) والتي لا تتحلل بيولوجيا Non Biodegradable وبذلك تمثل مشكلة تلوث يلزم التخلص منها . لا خوف من استخدام الكلور في مياه التبريد القلوية ، حيث مع استخدام الكلور في مجال رقم هيدروجيني اكبر من ٨ لا خطورة على المادة الخشبية . قد يبدو الأوزون كمطهر في المجال القلوي نظرا لانه مؤكسد قوى ، ولكنه غير مناسب لعدم ثباته وتكلفة إنتاجه المرتفعة والتي تتم في الموقع .

بالإضافة إلى الكلور الذي لا يمكنه الأداء الكلي ، يستخدم مطهرات غير مؤكسدة (Nonoxidizing Biocides) في معظم نظم التبريد القلوية . وهذه عبارة عن نوعيات محددة لكل نوع من الكائنات المسببة للعفن . وكذلك هذه المطهرات يمكن استخدامها مع مواد التشتت ، مثبطات الترسيبات (Scale Inhibitors) وكيماويات أخرى لأبراج التبريد . ولذا فان برنامج التطهير يكون محدد لكل حالة من أبراج التبريد .

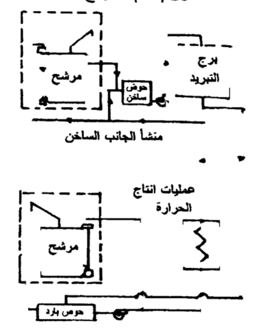
الترشيح للتدفق الجانبي : Side stream filteration

عند استخدام مياه غير نقية لتعويض مياه التبريد في برج التبريد ، فانه الرياح يمكن ان تعمل على ترسيب الأتربة في نظام التبريد وكذلك إمكان حدوث نمو للطحالب والفطريات في المياه وتسبب عكارة كما يضاف إلى أسباب العكارة نواتج التآكل والتسرب . وهذه المواد العالقة لا تسبب فقط تراكم العفن على أسطح المبادلات الحرارية . ولكنها تعين الانتقال الحرارى وتنشط عمليات التآكل بسبب ترسيب الطفلة (Slit) ، والأهم من ذلك هو زيادة تكاليف النظافة والصيانة .

رغم أن أي نوع من المرشحات يمكن استخدامه للتخلص من هذه المواد الغريبة آلا أن الأكثر مناسبة هي استخدام المرشحات الآلية التي تعمل بالجاذبية (مرشح رملي آلي سريع) توضع المرشحات عادة قرب أبراج التبريد . في نظام التبريد للمياه ، التبريد يقلل من كمية المواد العالقة في المياه الدوارة والمحافظة على انخفاض نسبتها وذلك باستمرار الترشيح لجزء صغير من المياه من تدفقات مياه التبريد الرئيسية .

الشكل (٢/٩) يوضح وضعين للمرشح في نظام مياه التبريد في جالة وضع المرشح على الجانب البارد وهذه هي الحالة العادية ، فانه يلزم إضافة قليلة لطاقة

الضخ ، وذلك لأنه يلزم أن تكون طاقة الطلمبة مساوية لتدفق مياه التبريد زائد التدفق خلال المرشح . المرشحات عادة تكون بطاقة ٢-٣% من معدل تدوير المياه أو بمعدل ٢-٣ دورة لحجم مياه التبريد كل ٢٤ ساعة خلال المرشح والذي هو اقل . معدل الترشيح هو حوالي ٢,٣ - ٣ جالون/القدم المربع من مساحة طبقة الترشيح .



شكل (٢/٩) وضعين للمرشح في نظام مياه التبريد حيث يكون اما على الجانب الساخن أو الجانب البارد

٧ - التطبيقات التكنولوجية لانتاج مياه عالية النقاء : شكل (٢/١٠)

Applied Technology – Ultimate Water :

المياه عالية النقاء هي مياه خالية من كل الملوثات سواء كانت عالقة أو مذابة عضوية أو غير عضوية . وهذه المياه ذات استخدام واسع في صناعة كثير من المكونات الإليكترونية ، مثل الترانزستورات (Transistors) وشبه الموصلات (Semiconductors). وذلك نظرا لأن أي ملوثات على هذه الأجزاء بسبب سوء الأداء . ذلك فهي تصنع في ظروف نظافة وتعقيم توجد فقط في غرف الجراحة والمستشفيات . الخطوة النهائية قبل تشطيب ولحام هذه المنتجات هو الغسيل بمياه عالية النقاء .

المواصفات القياسية للمياه عالية النقاء هو المياه ذات المقاومة ١٨ميجوم (18

Megohm) . ولكن هذا ليس مواصفة كاملة أو دقيقة ذلك أن التوصيل الكهربي (هي مقياس للمقاومة الكهربية) هو قياس للأملاح المذابة (الاليكتروليت) فقط ، وكذلك يلزم لدقة هذا القياس معرفة درجة الحرارة . المقاومة النظرية للمياه ذات النقاء المطلق هو حوالي ١٨ ميجوم عند درجة حرارة ٢٥° م . ولكن عند درجة حرارة ١٨° م والتي تستخدم عادة كدرجة حرارة قياسية حوالي ٢٢ ميجوم . لذا يلزم توصيف درجة الحرارة مع المقاومة بما يجعل النقاء أكثر من النظري مستحيل . بالإضافة إلى الإذابة البالغة الانخفاض للاليكتروليت (الأملاح المذابة) والتي يمكن قياسها بأجهزة التوصيل الكهربي فان المياه عالية النقاء يلزم خلوها من المواد العالقة . حتى أن التركيزات المنخفضة من البكتريا أو الطحالب في هذه المياه شديدة الخطورة . لذا فان المواصفات للمياه ١٨ ميجوم والتي تشير إلى خلو المياه من الأملاح المذابة والتي تعني كذلك الترشيح الكفء العالي والتعقيم لإزالة المواد الصلبة العالقة والمواد العضوية والبكتريا.

مخطط عملية المعالجة لانتاج مياه عالية النقاء للاستخدام في صناعة شبه الموصلات (Semiconductors) والدوائر الميكرونية (Microcircuits) شكل (٢/١٠) .

مراحل المعالجة تتكون من المراحل التالية بالترتيب :

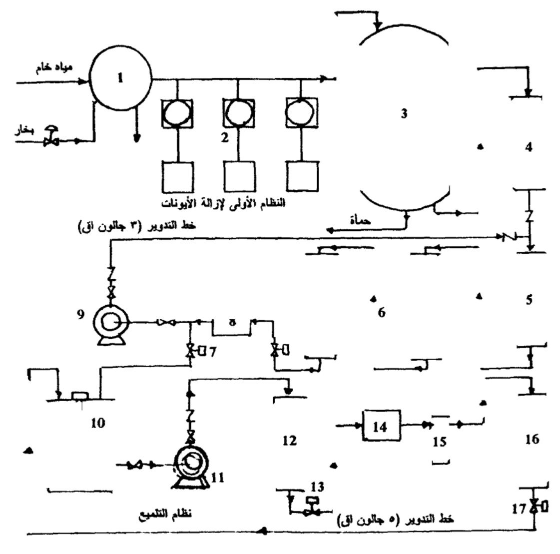
١ - التعقيم و/أو الترويب .

٢ - الترشيح وإزالة كلور التطهير (التعقيم) باستخدام الكربون المنشط .

٣ - الإزالة الأولية للأملاح .

٤ - الإزالة النهائية للأملاح بالطبقة المختلطة (Mixed bed Polishing) .

٥ - تطوير والمحافظة على النوعية العالية للمياه في دورة (Loop) المياه عالية النقاء .



شكل ٢/١٠ مخطط إنتاج المياه عالية النقاء لاستخدامها فى الصناعات الإليكترونية

(1) سخان
(2) طلمبة المحلول الكيماوي
(3) مروق الضغط
(4) مرشح رملي
(5) مرشح الفحم
(6) إزالة الأيونات بطبقتين
(7) محابس آلية
(8) تطهير بالأشعة فوق البنفسجية
(9) طلمبة
(10) خزان المياه بأقطاب
(11) طلمبة
(12) إزالة الأيونات بالطبقة المختلطة
(13) محبس آلي
(14) تعقيم بالأشعة فوق البنفسجية
(15) خرطوشة ترشيح (٠,٥ ميكرومتر)
(16) إزالة الأيونات بدون تنشيط
(17) محبس آلي

الفصل الثالث

٣

المياه المكثفة وتغذية الغلايات

١ - المياه المكثفة وتغذية الغلاية : Boiler Feed and Condensate

تتكون دورة مياه الغلاية من مياه التعويض (Make – up Water) والذي هو مياه خام تنقيتها إلى درجة محددة مسبقا ومياه معادة (Return Water) تتكون من البخار المكثف والذي يعاد استخدامه كمياه للتعويض الشكل (٣/١) يوضح الدورة بينما الشكل (٣/٣) عبارة عن دليل لأقصى تركيز مسموح به من الملوثات في المياه طبقا لضغط البخار . يلاحظ ان كلا من مياه التعويض ومياه البخار المكثف يلزم تنقيتهم إلى مستوى عالي في حالة غلايات الضغط العالي . لذلك فانه سوف يتم مناقشة تنقية مياه التغذية وتلميع (Polishing) المياه المكثفة .

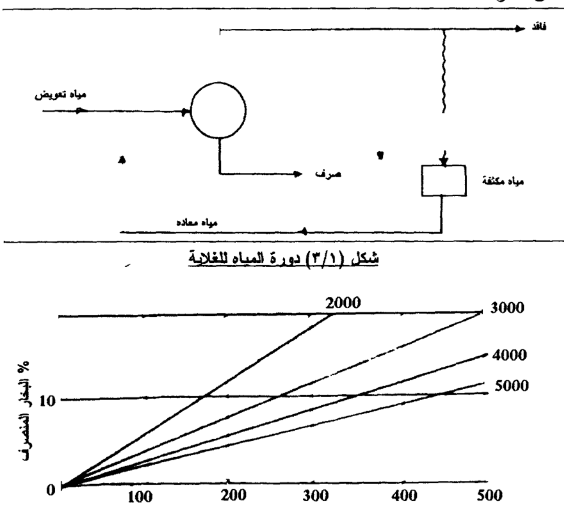
٢ - معالجة مياه التغذية للغلايات : Feed Water Treatment

الغرض من معالجة مياه التغذية للغلايات المنتجة للبخار هو تجنب احتمالات حدوث ترسيبات (Scles) والتي تعيق الانتقال الحرارى ، والتي بالتالي تسبب فقد في الطاقة واستخدام الوقود بالإضافة إلى حدوث تسخين زائد (Overheating) وكذلك تجنب حدوث تآكل والذي يزيد من الطاقة المستخدمة بسبب زيادة الصرف ، وبالتالي تلف أسطح التسخين .

أقدم وأبسط طريقة لمنع حدوث الترسيبات هي بالتبادل الأيوني حيث يزال العسر عدا بعض البقايا (وهذا العسر هو الذي يسبب الترسيبات (Scales)) . وهذه البقايا يمكن أن تظل في شكل روبة متحركة بإضافة بعض الكيماويات ، حيث تزال بسهولة عند الصرف العادي . كما أن الحماية من التآكل يمكن توفيرها بإضافة مثبطات التآكل (Inhibitors) .

الفوران (Priming) ، أو حمل مياه الغلاية مع البخار هو دلالة لتركيز الأملاح الصلبة المذابة وكذلك يرجع هذا إلى درجة ما لتصميم الغلاية وظروف التشغيل . بالنسبة لمولدات البخار حيث مجال الأملاح الكلية المذابة لمياه الغلاية يفترض انه ما بين ٢٥٠٠ - ٣٥٠٠ جزء في المليون . ولضمان عدم زيادة هذا الحد من الأملاح المذابة ، فانه يجب أن يتم صرف مياه مركزة من آن إلى آخر أو بصفة مستمرة ، وفي حالة عدم استعادة الطاقة الحرارية من هذه المياه فان هذا يعتبر فقد في الطاقة .

الشكل (٣/٢) يوضح الصرف المطلوب في حالة مياه التغذية ذات المحتوى المختلف من الأملاح الكلية المذابة وذلك لوضع حد لتركيز الغلاية عند ٣٠٠٠ جزء في المليون كمثال . بالنسبة لمياه التغذية ذات أملاح كلية مذابة ٣٠٠ جزء في المليون يلاحظ ان الصرف بنسبة ١٣% من البخار يكون مطلوب . لذلك ففي حالة البخار في الغلاية بمعدل ١٠٠٠٠ كجرام في الساعة فان متوسط الصرف سيكون ١٣٠٠ كجرام في الساعة . هذا بالإضافة إلى انه يجب الإمداد بمياه التغذية للغلاية بمعدل ١٣% لتعويض الفاقد بالصرف ، وبهذا يزداد حجم محطة المعالجة وتزداد تكاليف التشغيل بنفس القدر .



شكل (٣/١) دورة المياه للغلاية

شكل (٣/٢) الصرف المطلوب لمختلف مياه التغذية

P2 O3 , SO2 PPM	التوصيل MS/CM	العسر	أقصى تركيز في مياه الغلاية
1000	10000	10	A
100	1000	1	B
10	100	0.1	
1	10	0.01	C
0.1	1	0.001	D
0.001	0.1	0.0001	

A = تناضح عكسي B = إزالة الأيونات بطبقتين **C = إزالة الأيونات بطبقة مختلطة**

1 – غلاية ضغط منخفض 2 – غلاية ضغط متوسط 3 – غلاية ضغط مرتفع

<u>شكل (٣/٣) أقصى تركيز للملوثات طبقا لضغط بخار الغلاية</u>

طبيعي في حالة إمكان استعادة البخار المكثف وإعادة استخدامه كمياه لتغذية الغلاية فان الموقف سيختلف حيث أن ذلك سيقلل من تركيز الأملاح الصلبة المذابة في مياه التغذية وبذا سينخفض الصرف المطلوب . ولكن عندما تكون استعادة المياه المكثفة غير عملي أو غير كافية لتوفير التخفيف المطلوب لمياه التغذية ، عندئذ فانه يجب عمل بعض المعالجات لخفض الأملاح الكلية المذابة لمياه التعويض .

الطرق التي يمكن استخدامها :

إزالة القلوية (Dealkalization) ، إزالة الأيونات (Deionization) أو التناضح العكسي (Reverse Osmasis) أو الطريقتين الأخيرتين معا . عندئذ يمكن تحقيق الخفض المطلوب في الأملاح الكلية المذابة لمياه التعويض (Make-up) .

٣ - إزالة القلوية : Deakalization

سبق مناقشة هذه الطريقة في الفصل (٢) . عند دورة المعالجة يتم التخلص من الكالسيوم والمغنسيوم المرتبطين بالقلوية بواسطة الراتنج حيث تتحول القلوية إلى الماء وثاني أكسيد الكربون . يزال ثاني أكسيد الكربون بتمرير الماء خلال برج إزالة الغازات .

يتم إضافة قليلا من الصودا الكاوية لتوفير رقم هيدروجيني غير عدواني ، ثم يتم تمريرر المياه خلال مبادل قاعدي لإزالة العسر حيث يتحول أي متبقى من أملاح

الكالسيوم والمغنسيوم إلى أملاح الصوديوم . المياه المعالجة تكون عندئذ ذات درجة عسر تجاري يساوي صفر ، وسوف تزال الأملاح الكلية المذابة بنسبة تساوي القلوية التي تم إزالتها . عمليا يتم ضبط جرعة الصودا الكاوية بما يعمل على توفير قلوية تساوي ١٥% من الأملاح الكلية المذابة ، وهذه الحالة تساعد في خفض العدوانية ومقاومة التاكل .

من الواضح أن درجة الخفض في المواد الصلبة المذابة نتيجة عملية إزالة القلوية تتوقف على نسبة القلوية إلى الأملاح الكلية المذابة في الماء الخام . مع الأخذ في الاعتبار أهمية المحافظة على نسبة قلوية لا تقل عن ١٥% . حيث أن قلوية المياه الخام ٥٠% من الأملاح الكلية المذابة ، فان الخفض الكلي للأملاح الكلية المذابة بنسبة ٤٠% يمكن أن يكون مؤثرا ، أو حيث تكون القلوية ٧٥% عندئذ يكون الخفض في الأملاح الكلية المذابة ٧٠% شكل (٢١/٤) مثال لنظام إزالة القلوية لمياه تغذية الغلاية كالآتي :

تحليل المياه الخام :

الكاتأيونات	جزء في المليون	الآن أيونات	جزء في المليون
Ca	٢١٦	HCO_3	٢١٤
Mg	٣٠	Cl	٣١
Na	٣٠	SO_4	٢٤
K	–	NO_2	٢
	٢٧٦		٢٦٧

هذه الإمداد من المياه المستخدمة للشرب كانت لازمة لغلاية ذات ضغط منخفض ١٢ جوي مع استعادة للبخار المكثف نسبة ٧٥% .

٤ - إزالة الأيونات بطبقتين : Two – bed deionization

في هذا المثال تمثل القلوية نسبة عالية من الأملاح الكلية المذابة حيث المعالجة التي تمت خفضت القلوية بمعدل ٦٢ جزء في المليون من الأملاح الكلية المذابة (أملاح الصوديوم) ، في حالة القلوية لمياه التغذية هي فقط ٢٥% من الأملاح الكلية المذابة لمياه التغذية فان الخفض بنسبة ١٢% فقط قد لا يكفي لتوفير فرق واضح

بالنسبة للصرف . في هذه الحالات يمكن عمل أما إزالة الأيونات (Deionization) أو التناضح العكسي .

في حالة إزالة الأيونات بنظام الطبقتين باستخدام كاتأيون قوي وآن أيون ضعيف في المبادلات فان الناتج يكون كالآتي :

التوصيل الكهربي ms / cm	١٥
العسر الكلي	صفر
الأملاح الكلية المذابة جزء في المليون	١٠
السيليكا (جزء في المليون)	كما في حالة مياه التغذية
ثاني أكسيد الكربون الحر (CO_2)	< ٥

يزال ثاني أكسيد الكربون كما في حالة إزالة القلوية في برج إزالة الغازات .

في حالة الرغبة في إزالة السيلكا ، فان استخدام مبادل آن أيوني قوي بدلا من الراتنج الضعيف سينتج عنه النتائج التالية :

التوصيل Ms / Cm	٥ – ١٠
العسر الكلي	صفر
الأملاح الكلية المذابة (جزء في المليون)	< ٢
السيليكا	< ٠,١
ثاني أكسيد الكربون الحر (جزء في المليون)	< ٠,١

كلا التحليلين كافي للغلايات منخفضة الضغط ومتوسطة الضغط وذلك بالنسبة لمياه التعويض واختبار المبادل الآن أيوني سوف يتوقف على التجاوز في السيليكا لنظام الغلاية .

التناضح العكسي : RO

سيتم مناقشة هذه الطريقة في الفصل (٥) . التناضح العكسي يخفض الأملاح الكلية المذابة في مياه التغذية بنسبة ٩٠ – ٩٥% . مع بعض المعالجات الكيماوية المناسبة يصبح التناضح العكسي مقبول بالنسبة لتنقية مياه التعويض للغلايات ذات الضغط المنخفض .

٥ - اختيار الطريقة لمعالجة المياه للغلايات ذات الضغط المنخفض :

لقد تم توضيح انه مع المعالجة الكيماوية المناسبة فان إزالة العسر بالتبادل القاعدي ، إزالة القلوية ، إزالة الأيونات ، التناضح العكسي كل هذه الطرق توفر مياه مناسبة لتغذية الغلاية ذات الضغط المنخفض . ولكن السؤال أي من هذه الطرق يتم اختياره ، الإجابة العامة هي انه خلال خمسة أيام أي من هذه الطرق الذي يحقق وفرة اقتصادية من ناحية التكاليف الاستثمارية وتكاليف التشغيل وتوفير أقصى خفض في الصرف للمياه (Blow – down) .

من ناحية التكاليف الرأسمالية فان إزالة العسر بالتبادل الأيوني القاعدي هو الأقل في التكلفة عن أي من الطرق الأخرى حيث تزداد التكاليف في حالة إزالة القلوية ثم إزالة الأيونات ثم التناضح العكسي . ولكن تكاليف التشغيل تختلف . في التنشيط الآلي فان تكاليف تشغيل إزالة العسر بالمبادل القاعدي (القلوي) هي أساسا تكاليف الأملاح المستخدمة في التنشيط . وحيث ان هذه العملية ليس لها تأثير على الأملاح الكلية المذابة ، فان الصرف لتأثير التخفيف للبخار المكثف العائد على مياه التغذية سيكون كما في الشكل (٣/٢) تكاليف خفض الأملاح الكلية المذابة في مياه التعويض بالتبادل الأيوني لمياه التعويض يختلف طبقا لكمية الأملاح المذابة .

تكاليف إزالة الأملاح الصلبة المذابة في مياه التغذية بطريقة التناضح العكسي تتوقف على الأملاح الكلية المذابة في مياه التغذية والتكاليف تتوقف على الطاقة الكهربية اللازمة لضخ المياه للضغط المطلوب ومياه الصرف . وعند الرغبة في تقييم التكاليف الكلية للمعالجة ومقارنتها بالخفض في الصرف فانه يجب أن يؤخذ الآتي في الاعتبار .

? طبيعة المياه الخام ? كمية المياه المكثفة المتاحة
? أقصى تركيز للأملاح الكلية المذابة مقبول في مياه الغلاية
? زمن تشغيل الغلاية ? استهلاك مياه التعويض
? تكاليف التنشيط و/أو الطاقة الكهربية

طبقا لظروف التشغيل فان خفض تكاليف التشغيل يكون نتيجة الخفض في الصرف حيث يتم الخفض في الأملاح المذابة في مياه التغذية . في المناطق حيث

محتوى الأملاح الكلية المذابة مرتفع (من ٢٠٠٠ إلى ٥٠٠٠ جزء في المليون) وحيث المواد الكيماوية مرتفعة نسبيا عندئذ وجد أن المعالجة باعلا التكاليف وبالتحديد التناضح العكسي هو الأكثر اقتصاد على المدى الطويل .

المدرسة التي تتم تناولها تنطبق على الغلايات ذات الضغط المنخفض فقط في حالة الغلايات ذات الضغط المتوسط أو ذات الضغط العالي فان عملية التنقية تتحدد في المقام الأول بنوعية المياه المستخدم في التعويض والمياه المكثفة . ثانيا اختيار الطريقة يتوقف على الأملاح الكلية المذابة والتحاليل المعملية للمياه الخام . هذين العاملين يؤديا الى العامل الثالث وهو العامل الاقتصادي . وسيتم توضيح ذلك في الأمثلة التالية .

٦ - معالجة مياه التغذية لغلايات الضغط العالي :

المعالجة بالتناضح العكسي كمعالجة مسبقة لإزالة الايونات (Deionization)

تلميع المياه المكثفة : Condensate Polishing

في حالة غلايات البخار ذات الضغط العالي يكون المطلوب تنقية المياه المكثفة باستمرار بنسبة ١٠٠% يحدث التلوث لمياه المكثفة بنواتج التآكل وبالتسرب الذي يحدث من آن لآخر من مياه التبريد المستخدمة في عملية التكثيف . معظم التلوث يكون في شكل أكاسيد معدنية مترسبة والتي يجب ترشيحها . لذلك فان عملية تلميع المياه المكثفة يجب أن تحقق هدفين وهما الترشيح وإزالة الأيونات . أثناء التشغيل العادي يكون التلوث الايوني عند أدناه ولكن هذا الموقف يمكن ان يتغير فجأة في حالة حدوث التسرب . عندئذ تختلط مياه التبريد ذات المحتوى العالي من الأملاح الكلية المذابة مع المياه المكثفة بما يسبب ارتفاع في التلوث الايوني وخاصة أملاح الحديد (اكاسيد الحديد) ، لإزالة هذا التسرب لتجنب التكاليف العالية لتوقف الغلاية يتطلب الترشيح ثم الإزالة بطريقة التبادل الايوني بالطبقة المختلطة مع التنشيط ثم التناضح العكسي بما يمكن من خفض الأملاح المذابة في مياه التعويض .

أثناء عملية إزالة القلوية فان الكالسيوم والمغنسيوم المرتبط بقلوية المغنسيوم يزال بواسطة الراتنج والقلوية المقابلة تتحول إلى ثاني أكسيد الكربون والماء . يزال ثاني أكسيد الكربون خلال وحدة إزالة الغازات . يضاف قليل من الصودا الكاوية لإيجاد رقم هيدروجيني غير عدواني ثم تمرر المياه خلال مبادل كاتأيوني لإزالة

الكالسيوم والمغنسيوم المتبقى والذي يتحول إلى أملاح الصوديوم . المياه المعالجة تصبح ذات عسر يساوي صفر ، والأملاح الكلية المذابة سوف تنخفض بكمية تعادل القلوية التي أزيلت . عمليا الصودا الكاوية المضافة يتم ضبط كمياتها لتكون القلوية الناتجة ١٥% من الأملاح الكلية المذابة وهذه الحالة مناسبة لمقاومة التآكل .

من الواضح أن درجة الخفض في الأملاح الكلية المذابة نتيجة إزالة القلوية (Dealkaliation) تتوقف على النسبة بين القلوية والأملاح الكلية المذابة في الماء . وعند الرغبة في المحافظة على ادنى نسبة للقلوية لتكون ١٥% بينما تكون قلوية المياه الخام ٥٠% من الأملاح الكلية المذابة ، عندئذ يلزم خفض الأملاح الكلية المذابة بنسبة ٤٠% . وعندما تكون القلوية ٧٥% من الأملاح الكلية المذابة فان نسبة الخفض تكون ٧٠% شكل (٣/٤) .

حالات الضغط لبخار الغلايات :

ضغط منخفض من ١٠ إلى ٢٠ جوي

ضغط متوسط من ٢٠ إلى ٦٠ جوي

ضغط عال اكبر من ٦٠ جوي

نسبة الخفض في الأملاح المذابة للمياه

١٠٠

٥٠

صفر

١٠٠

قلوية المياه الخام (النسبة المئوية للأملاح المذابة)

<u>شكل ٣/٤ لمكان خفض النسبة المئوية للأملاح المذابة مع المحافظة على القلوية بنسبة ١٥% من الأملاح المذابة</u>

الفصل الرابع

٤

تقطير المياه العزبة للاستخدامات الدوائية والمعمليـــة والصناعية

تقطير المياه العذبة : Freshwater Distillation

١ - المقدمة :

عند تسخين الماء إلى درجة الغليان فان يتحول إلى غاز تاركا خلفة الملوثات التي لا تتبخر . وعند تبريد الغاز (بخار الماء) فانه يتحول إلى الماء الذي يصبح خاليا من المواد المذابة والمواد الغير مذابة والتي لا تتبخر . وفي هذه التكنولوجية يتم تغذية المياه العذبة إلى الغلاية حيث يحدث التبخر للمياه ، ثم يمر البخار خلال المبردات حيث يتكثف مكونا الماء النقي والذي يمر من خلال المبرد (المكثف) مع بقاء المواد التي لا تتبخر في الغلاية حيث يتم إزالتها .

تستخدم المياه النقية في صناعة مستحضرات الحقن (Injection) الدوائية . التقطير هو طريقة التنقية الوحيدة التي تزيل أي ملوثات بكتيريا في الماء (البكتريا ، الفيروسات ، الملوثات المسببة لارتفاع درجة الحرارة (Pyrogens)) . من الناحية العملية قد يحدث حمل لبعض المواد الهلامية مع البخار ، كما ان بعض الغازات المذابة مثل ثاني أكسيد الكربون والأمونيا يمكن كذلك أن تحمل مع المياه المقطرة . المياه المنتجة بالتقطير يمكن ان تكون ذات درجة نقاء مقيمة بالتوصيل الكهربي النوعي ما بين ٤ و ٠,٠٦٦ ميكروسيمنز عند ٢٥° م أي بما يعادل اقل من ٣ جزء في المليون أملاح مذابة وذلك طبقا لعملية التقطير المستخدمة .

يمكن بالتقطير معالجة المياه العذبةوالمياه المالحة (Brackish) والتي تم عمل معالجة مسبقة لها . يجب منع تكون الترسيبات (Scale) بسبب عسر المياه وذلك بإزالة العسر ، حيث يلزم المعالجة بالتبادل الأيوني لإزالة أيونات السيليكا والأيونات المعدنية.

في حالة التقطير يحدث تغيرات في مجالين وهما من السائل إلى الغاز ومن الغاز إلى السائل . حيث يلزم طاقة لتسخين المياه إلى درجة الغليان ، ثم طاقة أخرى لتحويل المياه المغلية إلى غاز (بخار الماء) ، وثالثا يلزم توفر حجم كبير من المياه لتكثيف البخار مع توفير الطاقة اللازمة لتدوير مياه التبريد . وهذه الحالات الثلاث تتطلب استهلاك كبير في الطاقة .

الخلفية التاريخية :

استخدام التقطير لعملية تنقية المياه وكان هو الطريقة القياسية في الماضي . كما استخدمت معدات التقطير لتوفير المياه العزبة من مياه البحر في الرحلات البحرية الطويلة وذلك للتقليل من متطلبات التخزين لمياه الشرب . وفي خلال القرن التاسع عشر مع التقدم في علوم الكيمياء ، وزيادة الاهتمام في تحضير مياه عالية النقاء حيث أمكن تحضير مياه عالية النقاء بالتقطير ، وقد استمر التقطير الوسيلة الوحيدة لانتاج مياه نقية للاستخدامات الدوائية حتى منتصف عام ١٩٥٠ عندما أصبحت عمليات التبادل الايوني مقبولة حيث استخدمت بدلا من التقطير في استخدامات كثيرة .

طريقة التقطير بالمراحل المتعددة أدت إلى الاستخدام الاقتصادي للطاقة ولمياه التبريد المطلوبة . في هذه الطريقة بعض من الطاقة الكامنة (Latent Heat) للتبخر يتم استعادتها من أحد مؤثرات التقطير لتوفير الحرارة للمؤثر التالي ، حيث بغلي الماء في هذا المؤثر التالي عند ضغط منخفض وبالتالي عند درجة حرارة منخفضة .

الطريقة الأخرى التي تقلل من الطاقة المطلوبة لتبخير الماء مع عدم استخدام مياه التبريد تماما ، هي طريقة ضغط البخار (Vapour Compression) . في هذه الطريقة يتم تبخير المياه ثم ضغط البخار – لذلك تزداد درجة حرارة البخار ويقل الحجم . البخار المحمص (Superheated Steam) يستخدم لتسخين في المبخرات (Evaporators) والطاقة الكامنة للتبخير يتم عندئذ استعادتها . بمجرد بدء دورة ضغط البخار يلزم توفير حرارة إضافية قليلة والطاقة الرئيسية المطلوبة هي للضغط .

٢ - جهاز التقطير بالتأثير الوحيد : (Single – Effect Still)

الطاقة المطلوبة للتقطير البسيط للماء يحكمها قيمة الحرارة الكامنة العالية لتبخير المياه والتي تصل إلى ٢,٢٦ كيلوجول/الجرام (2.26 kj/g) . الطاقة الكامنة تمثل الطاقة اللازمة لفصل جزيئات الماء ، الملتصقة مع بعضها في الحالة السائلة إلى جزيئات منفصلة بعيدا عن بعضها في حالة البخار . هذه الطاقة يتم استعادتها عند تكثيف البخار ثانيا إلى الحالة السائلة . في جهاز التقطير البسيط عادة تفقد هذه الحرارة في مياه التبريد التي تتدفق خلال المكثف .

الحرارة الكامنة للتبخير (Latent Heat of Evaporation) مرتفعة بسبب شكل وتوزيع الإليكترونات في الذرة .

حيث الشكل هو O(-H)(-H) بزاوية ١٠٤,٥ بين الرباطين H ——— O .

يوجد توزيع متساوي للإليكترونات في الرباطين ، حيث الجزيء للأكسجين اكثر لذلك فانه يحمل شحنة سالبة وذرتين الهيدروجين شحنة موجبة ، وهذا ينتج عنه حالة من التأين الكهربي في الذرة . في الحالة السائلة توجد قوة جذب كهربي كبيرة بما يجعلهم مرتبطين ببعض .

٣ - مبدأ عملية التقطير : أشكال (٤/١) ، (٤/٢)

عند تقطير الماء ، يلزم فقط ٢ مبادل حراري أحدهما للتبخير والآخر للتكثيف. التبخير عادة يتم بالكهرباء أو بالبخار بينما تكثيف البخار يتم بالمياه الباردة . الشكل (٤/١) يوضح جهاز تقطير فردي بسيط ولكنه ليس اقتصادي الطاقة الحرارية المطلوبة لجهاز التقطير الفردي هي لتسخين كيلوجرام من المياه من ١٥°م إلى ١٠٠°م يتطلب ٣٥٦ كيلوجول من الطاقة . ولتبخير هذه الكمية يتطلب طاقة إضافية ٢٢٥٧ كيلوجول أي أن إجمالي الطاقة اللازمة لتحويل كيلوجرام من الماء عند درجة حرارة ١٥°م إلى البخار عند ١٠٠°م هي ٢٦١٣ كيلوجول . البخار عند ضغط جوي ٣ ودرجة حرارة ١٤٤°م ينتج ٢١٣٣ كيلوجول عند التحول من الحالة الغازية إلى الحالة السائلة . لذلك فانه يلزم توفير ١,٢٣ كيلوجرام من البخار لتبخير كيلوجرام من الماء .

بمجرد التبخير فانه يلزم تكثيف هذه المياه لانتاج الماء المقطر . في حالة درجة الحرارة للمياه الخارجة من المكثف في حدود ٧٠°م ، فانه يلزم إزالة الحرارة الكافية للتبخير ٢٢٥٧ كيلوجول / كيلوجرام وبتبريد المياه المقطرة إلى ٧٠°م - إجمالى ٢٣٨٣ كيلوجول / كيلوجرام . وهذا يتطلب مياه تبريد ١٠,٣ كيلوجرام عند ١٥°م لكل كيلوجرام من المياه المقطرة المنتجة . يمكن خفض الطاقة الإجمالية المطلوبة قليلا باستخدام جزء من مياه التبريد كمياه تغذية لجهاز التقطير . وحيث أنها

عند درجة حرارة ٥٧٠ م فان يمكن الحد من متطلبات الطاقة المطلوبة لرفع درجة حرارة مياه التغذية إلى ٥٧٠ م أو ٢٣٠ كيلوجول / كيلوجرام من الطاقة . وهذا يقلل من متطلبات البخار حيث كان المطلوب ٢٣٨٣ كيلوجول لتبخير كيلوجرام من الماء عند البدء في درجة حرارة ٥٧٠ م . في هذه الحالة يكون المطلوب هو ١,١٢ كيلوجرام من البخار لتبخير كيلوجرام من الماء . رغم أن ٩,٣ كيلوجرام من الماء عند ٥٧٠ م التي يتم صرفها تمثل ٢٧٢٦ من الطاقة المفقودة . وهذا يمثل ٩٠% من الطاقة المستغلة والداخلة في جهاز التقطير - وهذا لا يمثل كفاءة في استخدام الطاقة .
عند التسخين بالطاقة الكهربية فان كيلووات ساعة يدخل إلى الغلاية ٣٦٠٠ كيلوجول . لتقطير لتر من الماء في الحالة الأخيرة يلزم ٢٣٨٣ كيلوجول ، وهذا يعني استهلاك طاقة كهربية تعادل ٠,٦٦ كيلووات ساعة ، مع عدم حساب الفقد .

مثال للقيم الرقمية للاستهلاك والإنتاج لجهاز تقطير مفرد بطاقة ١٠٠ لتر في الساعة موضح في الشكل (١٢,٢) . مع ٩٠% كفاءة فان تقطير ١٠٠ كيلوجرام في الساعة يتطلب ٧٥ كيلووات و١٠٣٥ كيلوجرام من مياه التبريد عند ٥١٥ م . يجب ان تتم المعالجة المسبقة لمياه التغذية لجهاز التقطير إما بإزالة العسر أو بإزالة الأملاح (Deionization) . كما يجب إن تحقق نوعية المياه المقطرة الآتي :

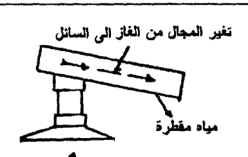
- عدم وجود ونقل الملوثات من مياه التغذية إلى البخار أو المياه المقطرة .
- عدم حدوث تلوث من المواد المستخدمة في التقطير أو نقل المياه .
- عدم وجود غازات مذابة الموجودة في مياه التغذية .
- نظافة نقطة خروج المياه المقطرة وأوعية الاستقبال .

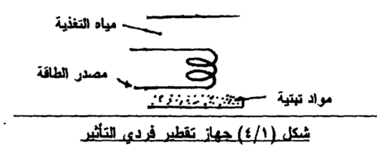
مع ملاحظة أن انتقال الملوثات من مياه التغذية يمكن خفضها بعوامل التصميم ولكن لا يمكن التخلص منها تماما . أما التلوث نتيجة إذابة من المواد المستخدمة في التقطير فيمكن تحاشي ذلك بالاختيار المناسب لمادة الصنع لأجهزة التقطير وأوعية النقل . بالنسبة للغازات المذابة فانه يصعب التخلص منها تماما وان كان ذلك ممكن في حالة ضبط درجة حرارة التكثيف .

٤ - أجهزة التقطير المعملية التقليدية : (Classic Lab Stills)

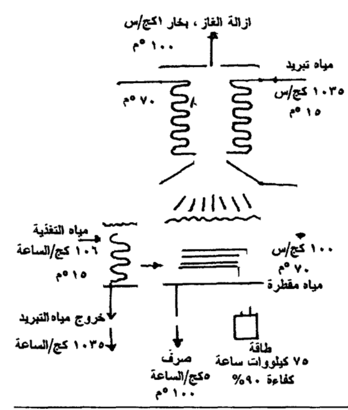
أحد أهم أجهزة التقطير المستخدمة على نطاق واسع في أوربا هو جهاز التقطير مانستي (Manesty) شكل (٤/٣) . مواد الصنع للجهاز هي الصلب المقاوم ، زجاج البوروسيليكيت للعواكس (Baffle) والغطاء . توجد نماذج بمعدل تدفق ما بين ١، ٢٠٠ لتر/الساعة . هذا الجهاز سهل التصميم حيث يمكن فكه بسرعة بدون استخدام أي أدوات لسرعة التنظيف .

يمكن بهذا الجهاز إنتاج المياه المطابقة لمواصفات مياه الصناعات الدوائية ز يمكن حجز ومنع الأجسام العالقة (Carry. Over) بنظام العوائق والعواكس حيث تغير اتجاه البخار ثلاث مرات قبل مرور البخار إلى أنبوبة التكثيف . البخار الهابط في المكثف يعمل على التسخين المسبق لمياه التغذية الصاعدة وذلك لتوفير الطاقة وكذلك للتخلص من الغازات المذابة . الخبرة العملية أوضحت أن الرقم الهيدروجيني هو من ٥-٦ بسبب الحمل لثاني أكسيد الكربون وان التوصيل النوعي هو من ٢-٤ ميكروسيمنز/سم (2-4 Ms/Cm) .

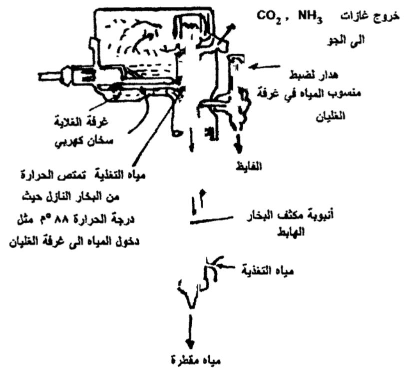




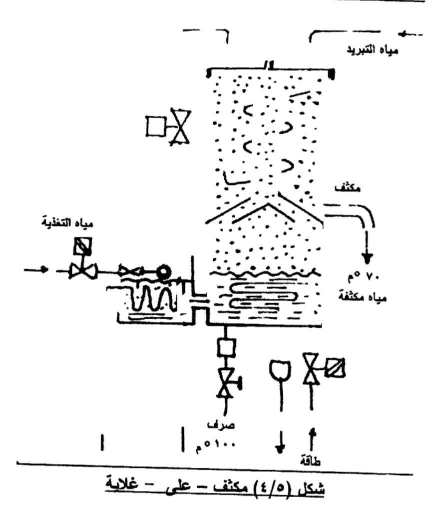
شكل (٤/١) جهاز تقطير فردي التأثير



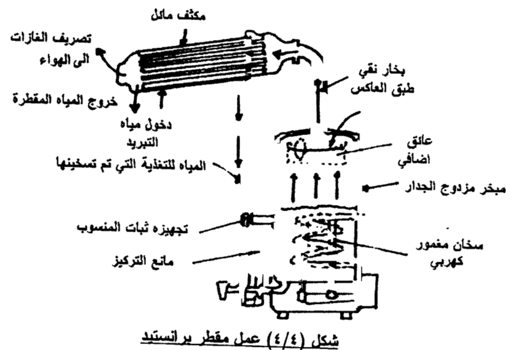
شكل (٤/٢) مقطر مفرد – استهلاك ، إنتاج معدل تدفق ١٠٠ لتر/الساعة



شكل (٤/٣) جهاز التقطير ماتسي



شكل (٤/٥) مكثف – على – غلاية



شكل (٤/٤) عمل مقطر برانستيد

مقطر برانستيد (Branstead Still)

هذا الجهاز مصنوع من الصلب المقاوم مع التبطين بطبقة نقية من القصدير للأسطح الملاصقة للبخار والمياه المقطرة . الشكل (٤/٤) يوضح نظام العمل . الظاهرة الواضحة هي مانع التركيز (Deconcentratior) والذي يزيل القشور (scale) من البخار باستمرار . يوجد نوعين من العواكس (Baffles) أحدهما لمنع الحمل (Carry Over) والآخر لمنع ملوثات البيروجين في الدواء . لانتاج من ٢-٤٠ لتر/الساعة ونوعية المياه المقطرة مناسبة للاحتياجات المعملية .

مقطر سنتا سالون : (Sandasalo Still)

عند التسخين بالكهرباء أو بالبخار فان ظاهرة هذا المكثف وحيد التأثير هي مبدأ التكثيف على الغلاية شكل (٤/٥) . هذا المكثف يمكن فكه بسرعة لفصل أجزاءه الثلاث شكل (٤/٦) . يتم استقبال المياه المكثفة كحبيبات من المياه لساقطة على سطح الغلاية القمعي . استمرار التقطير يعمل على خفض تركيز الأملاح المسببة للترسيبات (Scales) . الإنتاج من ١٢-٥٠ لترفي الساعة يمكن الحصول على نسبة نقاء عالية بخفض سرعة الغليان مع وجود عوامل عاكسة (Baffling) بكفاءة ، جيدة . نظرا لأنه مصنع من الصلب المقاوم فان النظافة باستخدام الحامض تكون مناسبة .

التقطير المتعدد : (Multidistillation)

التقطير المتعدد هو الأكثر تأثيرا في زيادة التحسين لنوعية المياه ، وذلك للاستخدامات المعملية حيث الوقت متيسر والمتطلبات الحجمية منخفضة . وهي طريقة مقبولة .

٥ - مواد الصنع ونوعية المياه :

خواص المياه الطبيعية كمذيب تزداد في حالة المياه النقية بالإضافة إلى أن المياه تصبح اكثر مذيب عدواني عند ارتفاع درجات الحرارة . لذلك فان تلوث المياه النقية بالالتصاق هي أحد عيوب عملية التقطير . من الضروري عمل أسطح المكثفات من مواد موصلة للحرارة . إثارة المحلول تكون بسبب جو المكثف ، خليط من البخار ، ثاني أكسيد الكربون ، النشادر ، الغازات الموجودة في مياه التغذية . هذه الملوثات يحتمل وجودها في المياه المقطرة .

القصدير النقي هو أحد المعادن التي لا تذوب في الماء . وكذلك التيتانيوم ، سبيكة القصدير والفضة المحتوية على ٣% فضة . هذه الملوثات يحتمل وجودها في المياه المقطرة . ولكن يعتبر القصدير النقي هو أحد اكثر المعادن عدم إذابة في الماء ، ويتساوى في هذا مع التيتانيوم . سبيكة القصدير والفضة بنسبة ٣% فضة استخدمت لسنين طويلة في تبطين الخزانات حيث لا تترك آثار يمكن الكشف عنها في الماء . الصلب المقاوم يترك آثار يمكن الكشف عنها في الماء . الصلب المقاوم يترك آثار من أيونات المعدن في الماء . من بين مواد البلاستيك يعتبر التيفلون الأكثر مناسبة للاستخدام . التيفلون خامل وكذلك لا يذوب في الماء ولكن التلوث الناتج عن عملية التشكيل يمكن أن يتسرب إلى الماء لذلك يلزم الحرص في النظافة الجيدة للتيفلون قبل الاستخدام .

حاليا ثبت أن الصلب المقاوم للأحماض هو الأكثر مناسبة للاستخدام . فهو مادة مثالية في التشكيل بما في ذلك اللحام والتلميع . الأسطح التي يتم تلميعها بالطريقة الكهربية (Electropo lished) توفر مقاومة ممتازة ضد عدوانية الماء النقي والبخار .

التشطيبات الصحية (Hygienic Fanishes)

أسطح أجهزة تقطير المياه الملاصقة للمياه المقطرة تعتبر ذات أهمية خاصة في توفير النقاء للماء . الأسطح التي يتم تلميعها ميكانيكيا يمكن أن تحتوى على جيوب مخفاه وصغيرة جدا . عند استخدام التلميع الكهربي فان الأجزاء البارزة على السطح يمكن أن تذوب بسرعة عن الأجزاء المخفضة . وذلك نتيجة زيادة تركيز التيار على الأجزاء البارزة . وبزا تكون الأجزاء البارزة والمنخفضة متجانسة وناعمة . بطريقة التلميع الكهربي لأسطح معدات التقطير وخزانات حفظ المياه. ونظم التوزيع يمكن توفير حالات صحية حقيقية .

أجهزة التقطير الزجاجية :

تصنع أجهزة التقطير الزجاجية ذات التأثير الوحيد بطاقة من ٤-٢٠ لتر في الساعة . يصنع الغلاية والمكثف من زجاج البوروسيليكيت وتوجد مصيدة لحجز النقاط من الماء. السخان المغمور المطلي بالكروم يحتوى على قاطع لمنع حدوث التسخين عند جفاف الماء . تعمل أجهزة التقطير بدون معالجة مسبقة حيث يتم التنظيف وإزالة

الترسيبات باستمرار عند التغذية بمياه عسر شكل (٤/٧) . تدخل من أعلا المكثف (١)، بتبريد وتكثيف بخار الماء الناتج في الفتيلة (٤) ويتحرك عند (٢) . هذا الماء الذي تم تسخينه المسبق يدخل إلى تجهيزه ثبات المنسوب (٣) الملتصقة بالقنينة (٤) . يدخل مياه كافية سابقة التسخين القنينة بدلا من المياه التي تم صعودها بالغليان بواسطة السخان المغمور . الباقي من المياه يتم صرفه . توجد مصيدة النقاط المحمولة (٦) لمنع استمرار صعود أي مواد عالقة صغيرة أو مياه غير معالجة . ثاني أكسيد الكربون يتم صرفه من الفتحة (٧) .

٦ - نظام المؤثرات ذات التأثير الوحيد الصناعية :

Industrial Single Effect System :

نتيجة لزيادة أسعار الطاقة فقد توقف استخدام أجهزة التقطير ذات التأثير الوحيد من الصناعة . وتم استبدالها أما بواسطة التأثير المزدوج ذات الضغط الحرارى (Thermocompression) أو بنظم إزالة الأيونات أو بنظم الأغشية .

معالجة مياه الصنبور بالدفع الحرارى :

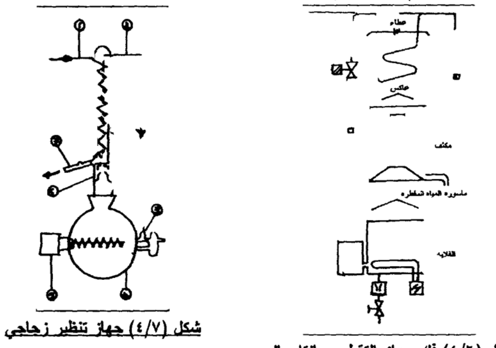
(Basic Tap Water Feed Thermodrive) :

في هذا الجهاز يستبدل نظام العواكس (Baffle) بنظام الحجز الحلزوني (Centrifugal separator) شكل (٤/٨) بما يسبب استمرار وانتظام تغير اتجاه البخار ، بما يحقق فصل أفضل . يدخل بخار الماء إلى السيكلون الحلزوني من جهاز التبخير (Evaporator) بسرعة عالية ، ثم يتوجه إلى أسفل في الشكل الحلزوني وهذا يحقق فصل ٥٠٠-١٠٠٠ ضعف جهاز التقطير العادي . بخار الماء المنتج الجاف والنقي يرتفع خلال العواكس العلوية للإزالة النهائية للمواد العالقة . متوسط التوصيل ، ميكروسيمونز/سم . (2 Ms/Cm) . لزيادة نقاء المياه تضاف غرفة لإزالة الغازات المذابة بما يوفر إنتاج مياه ذات درجة توصيل اقل من ١ ميكروسيمونز/سم .

نظام التدوير : Turnback System (Santasalo)

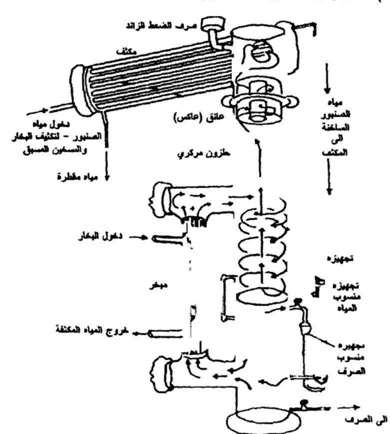
في هذه الطريقة يستخدم البخار أولا كمصدر للطاقة (الحرارة) وثانيا في شكل بخار مكثف كمياه تغذية . بساطة التصميم واضحة . عند استخدام البخار النقي

كمصدر للطاقة لا تتم الحاجة إلى تنقية البخار المكثف .



شكل (٤/٧) جهاز تنظير زجاجي

شكل (٤/٦) فك جهاز التقطير سانتا سالو



شكل (٤/٨) تغذية ماء الصنبور بالدفع الحراري

شكل (٤/٩) . عند استخدام بخار المحطة عندئذ يلزم توفير نظام تنقيته للبخار المكثف شكل (٤/١٠) . تشمل المعالجة المسبقة مرشح الفحم النشط ووحدة إزالة الأيونات (Deionizer) . كل مواد الصنع تكون من الصلب المقاوم للأحماض . يمكن أن يتم التشغيل بالطريقة الآلية . معدل التدفق ٢٠٠ لتر في الساعة . يستخدم المنتج من المياه التنقية في الحقن الطبي والتعقيم . أجهزة التقطير هذه لا تحتاج إلى نظافة أو إلى الصيانة .

٧ - التقطير الميكانيكي بالضغط الحراري :

Mechanical Thermocompression Distillation :

القاعدة النظرية :

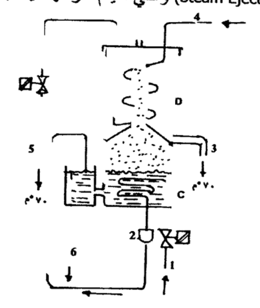
كما سنرى التقطير بالتأثير المزدوج (Multiple Effect Distillation) يستخدم الحرارة الكامنة (Latent Heat) لمؤثر واحد لتوفير الطاقة (الحرارة) للمؤثرات التالية تحت ضغط منخفض وبالتالي درجة حرارة منخفضة . وبالعكس في التقطير بالضغط الحراري فان البخار من المؤثر الأول يتم ضغطه وبذلك ترتفع درجة الحرارة وينخفض الضغط . تبدأ العملية بالتسخين الأولى لمياه التغذية ، طلمبة لعمل التفريغ (Vacuum) أعلا المياه الساخنة ، بما يقلل من درجة حرارة غليانها إلى ٩٠°م ، وهذا يمكن من تحويل الماء إلى بخار بدون التسخين إلى ١٠٠°م .

يلي ذلك تقوم نفس الطلمبة بضغط البخار في غرفة خاصة . عندئذ ونتيجة للضغط والاضطراب الشديد ، فان البخار يتم تسخينه إلى ١٠٢°م وبذا يكتمل فصل الغازات المذابة وتعقيم البخار . حاليا ترتفع درجة الحرارة عادة إلى ١٢٠°م .

من هذه الغرفة يدخل البخار إلى الغلاية التي تحتوى على الماء السابق تسخينه إلى ٩٦°م حيث يعطي البخار حرارته الزائدة إلى الماء وحيث يتكثف البخار . يمر بعد ذلك إلى المبادل الحرارى ويخرج المنتج عند درجة حرارة أعلا من مياه التغذية بـ ١٠°م إلى ١٥°م .

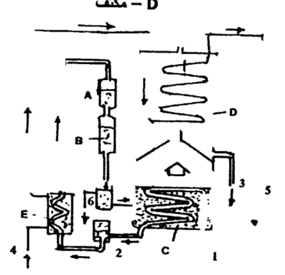
هذا النظام الميكانيكي الحرارى يوفر تقريبا استغلال كامل للطاقة . وفي الواقع يتم بدء أحد الدورات بتوفير أقل حرارة ثم تلزم الطاقة لتشغيل الضاغط الشكل

(٤/١١) . وبالتحديد تسمى هذه العملية الضغط الميكانيكي الحراري للتفرقة بينها وبين الطريقة لبثق البخار (Steam Ejector) والتي سيتم شرحها فيما بعد .



شكل (٤/٩) مقطر تدوير البخار لانتاج البخار النقي

١ – بخار
٢ – جمع البخار المكثف
٣ – خروج المياه المقطرة
C – غلاية
٤ – دخول مياه التبريد
٥ – خروج مياه التبريد
٦ – صرف
D – مكثف



شكل (٤/١٠) جهاز تقطير بخار المحطة العائد

١ – بخار
٢ – جمع المياه المكثفة
A – مرشح فحم منشط
B – معالجة مسبقة بالتبادل الأيوني

٣ – خروج المياه المكثفة　　C – غلاية
٤ – دخول مياه التبريد　　D – مكثف
٥ – خروج مياه التبريد　　E – مبادل حراري
٦ – صرف

المعالجة المسبقة ونوعية المنتج النهائي :

يوصي بالمعالجة المسبقة باستخدام طريقة إزالة الأيونات حيث يمكن إزالة السيليكا . نقاء المنتج النهائي هو ٠,٠٥ ميكروسيمنز/سم والغازات المذابة يتم إزالتها تماما تقريبا ، بما ينتج عنه تعادل في الرقم الهيدروجيني . هذا الماء المقطر يكون نقي من الناحية البيولوجية وغير مسبب لارتفاع درجة الحرارة عند استخدامه في الحقن الطبي (Apyrogenic) .

مواد الصنع هي من النحاس أو الصلب المقاوم المبطن بالقصدير . التسخين يكون بالبخار أو بالكهرباء أو بكليهما . يتم تسخين الماء بالتدريج ويرتفع فقط ببطيء في غرفة التقطير ، حيث يتم الفصل الكامل للمواد الصلبة العالقة والغازات المذابة . الماء يغلي فقط عند السطح بدون حدوث فقاعات (Bubbling) بما يمكن من تجنب حجز نقاط المياه . معدل التدفق ١٠٠٠٠ لتر في الساعة الجداول (١٢,٣) ، تبين بيانات الكفاءة .

جدول (١٢,٣) لتسخين البخار النقي :

الطاقة لتر/ساعة	بخار ماء نقي كج/س	مياه تبريد لتر/س	مياه مقطرة زائدة لتر/س
٢٥	٢٨	٢٩٠	٣
٥٠	٥٥	٥٧٥	٥
١٠٠	١١٠	١١٥٠	١٠
٢٠٠	٢٢٠	٢٣٠٠	٢٠

مقطر الضغط الحرارى مزدوج الحلقات :

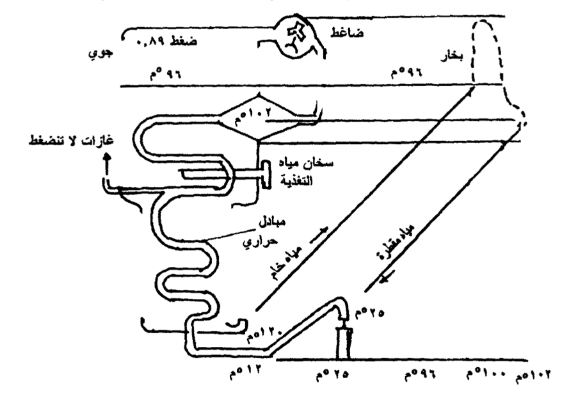
Dual – loop Thermo compression Still :

في أجهزة التقطير بالضغط الحرارى السابق توضيحها ، يكون البخار النقي ملتصق بالأجزاء المتحركة من الضاغط . وهذا يمثل خطورة كبيرة للزيوت والأجسام

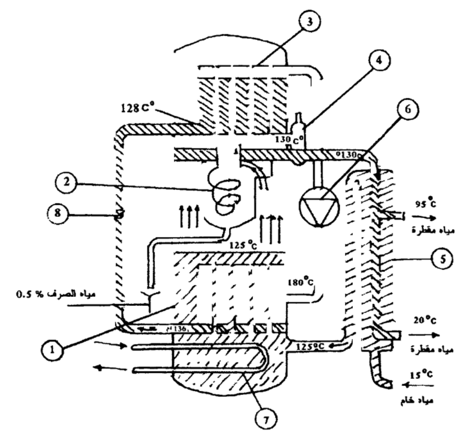
التي تتسرب إلى البخار النقي . وقد يستخدم التقطير بالضغط الحراري مزدوج الحلقات للتغلب على هذه المشكلة . الشكل (٤/١٢) يوضح مخطط لهذا المقطر .

التقطير بالضغط الحراري بواسطة البثق بالبخار :

Thermo compression Distillation By Steam Ejection :



شكل (٤/١١) جهاز التقطير بالضبط الحراري لتوضيح العملية مع بيان درجات الحرارة عند مختلف المراحل



شكل (٤/١٢) مقطر الضغط الحرارى مزدوج الحلقات (Zyclodest)

١ – مبادل حراري للتبخير نوع الألواح المتعرجة ٥–مبرد–بالتبادل الحراري مزدوج الأنبوبة

٢ – فاصل حلزوني ٦ – طلمبة تسخين

٣ – مبادل حراري للتكثيف نوع الألواح ٧–تسخين أولي،بخار،مياه ساخنة أوكهربي

٤ – مزيل الغازات ٨ – محبس خفض الضغط

هذه الطريقة الحديثة لا تحتاج إلى أجزاء متحركة ، بدلا من الضاغط يستخدم باثق للبخار (Steam jet Ejector) للقيام بهذا العمل شكل (٤/١٣) يوضح مقطر الضغط الحرارى (Branstead) عمل مقطر برانستيد بالضغط الحرارى (نوع البثق بالبخار) ، حيث يتم تبخير مياه التغذية في مولد البخار ، التسخين بالبخار ، الغاز ، الزيت ، الكهرباء . يتم حجز الملوثات بالعواكس (Baffles) .

التقطير للمياه بالبثق الحرارى : Thermojet Water Distillation

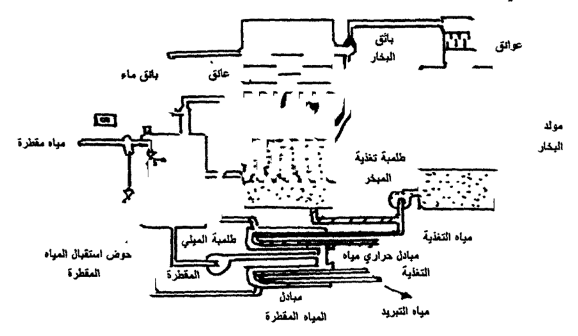
هذا الجهاز هو تطوير لمبدأ الضغط الحرارى شكل (٤/١٤) . مياه التغذية (F) يتم ضخها إلى (1) حيث يتم تسخينها في المبادل الحرارى (2) ثم وصولها إلى المؤثر

الأول (الغلاية) (3) . في هذا المؤثر يتم تسخين مياه التغذية بالبخار أو بالكهرباء . في حالة (H) بخار تسخين عند ضغط ٨ جوي فان كل نقطة في مياه التغذية يتم تسخينها إلى حوالي ١٨٠ °م ، وهذا يوفر آمان للاستخدام الطبي للمياه المقطرة . جزء من مياه التغذية يتم تبخيره (بخار ماء نقي) ومتصل بمدخل باثق البخار ذو الضغط العالي(4) . الزيادة في تدفقات مياه التغذية يتم توجيهها خلال المبادل الحراري (2) إلى المؤثر الثاني (5) لزيادة التبخير بدون طاقة خارجية .

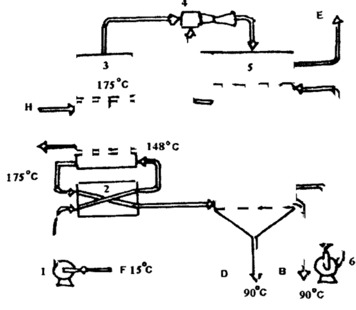
٨ - عملية التقطير متعددة التأثير (المراحل) :

Multiple Effect Distillation Process :

حاليا عملية التقطير متعددة المراحل هي الطريقة المفضلة في الصناعات الدوائية . رغم أنها لا تنافس التقطير بالضغط الحراري بالنسبة لاستهلاك الطاقة . النقص التام في الأجزاء المتحركة ، سهولة الإنشاء وثبات التشغيل جعل هذه الطريقة مفضلة في الصناعة .



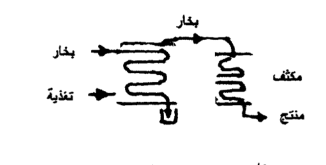
شكل (٤/١٣) مخطط لجهاز تقطير الضغط الحرارى بارنستيد

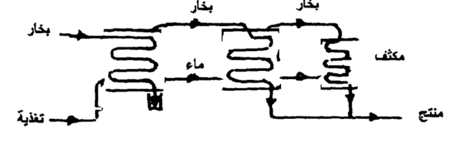


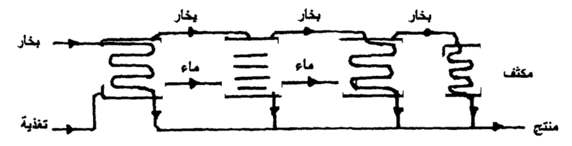
شكل (٤/١٤) مخطط البثق الحرارى

نظرية التقطير متعدد المراحل :

في التوزيع متعدد المراحل (الغلايات) يتم تسخين الماء في المؤثر الأول (الغلاية الأولى) إلى درجة حرارة الغليان تحت ضغط حوالي ٨ جوي . عندئذ يكون المؤثر الأول عند أعلا ضغط والمخرج الأخير عند الضغط الجوي . في المرحلة الثانية يكون الضغط وبالتالي درجة الغليان أقل . بتكثيف البخار من المؤثر الأول في مواسير التسخين للمؤثر الثاني حيث تنطلق الحرارة الكامنة للتكثيف وكثافة الحرارة الناتجة عن انخفاض درجة الحرارة وهذه الطاقة الحرارية المنبعثة يأخذها الماء السائل في المؤثر الثاني (الغلاية) . بما ينتج عنه تحول المياه إلى البخار . تحدث عمليات مشابهة في المؤثرات التالية وفي المرحلة الأخيرة تستخدم مياه التبريد لاكمال النكثيف. عند استخدام عدد كبير من المراحل قد يكون استخدام مياه التبريد غير ضروري . يتم جمع المياه المكثفة في شكل المنتج النهائي . يتم توفير طاقة حرارية للمؤثر الأول فقط، وحيث أن الطاقة الكامنة (Latent Heat) يعاد استخدامها في المرحلة الثانية والمراحل التالية فان ذلك يحقق تحسن كبير في كفاءة استخدام الطاقة نسبة إلى التقطير بالمؤثر الواحد . بالإضافة إلى أن حجم مياه التبريد إما أن ينخفض إلى درجة كبيرة أولا يستخدم شكل (٤/١٥) .







شكل (٤/١٥) ترشيد وخفض الطاقة في التقطير متعدد التأثير

- الماء المكثف في المبخر الأول يعاد البخار الداخل الى المبخر ولا يتم حسابه كجزء من إنتاج الجهاز
- يوضح الزيادة المتوقعة في اقتصاديات المبخرات بسبب زيادة عدد المبخرات
- نسبة الإمداد بالبخار بالكيلو جرام من المنتج من المياه المقطرة
- مبخر وحيد التأثير ١ : ٠,٩
- مبخر مزدوج التأثير ١ : ١,٦٥
- مبخر ثلاثي التأثير ١ : ٢,٣
- مبخر رباعي التأثير ١ : ٢,٨

النظرية التقريبية للتقطير متعدد المراحل والذي يؤدي إلى درجة الحرارة والضغط في كل مرحلة يمكن أن تكون كالآتي :

$$Q_i = U_i A_i \Delta T_i$$

حيث U_i = معامل الانتقال الحرارى لكل مبادل حراري

A_i = مساحة المبادل الحراري

ΔT_i = فرق درجات الحرارة ما بين الماء في الغلاية (المؤثر) والبخار الداخل إلى المبادل الحراري . حيث ($\Delta T_i = T_o - T_i$) حيث T_o درجة حرارة بخار التسخين الداخل إلى المؤثر الأول ، T_1 هي درجة حرارة الغليان في هذا المؤثر ، ($\Delta T_2 = T_1 - T_2$) حيث T_2 هي درجة حرارة الغليان في المؤثر الثاني وهكذا .

إذا كانت Q هي الحرارة المنقولة إلى حرارة كافية للتبخير في المؤثر الأول ، معطية كمية مياه مقطرة D1 ، هذه عندئذ تستخدم كبخار عند المؤثر الثاني ، معطية كمية مماثلة من الحرارة لهذا المؤثر الثاني . في كل مساحات كل المبادلات متساوية وبفرض أن كميات متساوية من الحرارة تنقل في كل مؤثر عندئذ :

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 \quad و \quad A_1 = A_2 = A_3$$

لهذا :
$$U_1 \Delta T_1 = U_2 \Delta T_2 = U_3 \Delta T_3$$

الانخفاض في درجة الحرارة في كل مؤثر يتناسب طرديا مع معامل الانتقال الحراري (عرف دولي) .

مثال :

في جهاز تبخير متعدد التأثير (ثلاثي التأثير) حيث مساحات المبادل الحراري متساوية، ومعاملات الانتقال الحرارى مقدرة لتكون بنسب ٥,٣ : ٣,٥ : ٢ . يتم تغذية بخار جاف عند ١٢٠° م للمؤثر الأول بينما في المؤثر الثالث الماء يغلي تحت ضغط ٠,١٣ جوي عند ٥٢° م . إجمالى الخفض في درجة الحرارة هو :

$$\Delta T_3 + \Delta T_2 + \Delta T_1 = ١٢٠ - ١٥٠ = ٦٨° م$$

إذا كانت :
$$U_3 \Delta T_3 = U_2 \Delta T_2 = U_1 \Delta T_1 = K$$

$$\therefore \quad \frac{K/U_1}{K/U_1 + K/U_2 + K/U_3} = \frac{\Delta T_1}{\Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3}$$

عند ضرب البسط والمقام للجانب الأيسر U_1 / KX

وبالمثل لحساب ΔT_2

$$20.1 = \Delta T_2 \therefore \frac{1}{3.39} - \frac{1}{0.64+1+1.75} - \frac{1}{U_2/U_1+1+U_2/U_3} = \frac{\Delta T_1}{68}$$

$$12.8 - \Delta T_1 \therefore$$

$$\frac{1}{5.32} = \frac{1}{1+1.53+2.75} = \frac{1}{1+U_1/U_2+U_1/U_3} = \frac{\Delta T_1}{68} \qquad \therefore$$

بالاختلاف $35.1 = \Delta T_3$

متطلبات الطاقة :

استهلاك بخار التسخين في المبخرات المتعددة يتناسب عكسيا مع عدد المؤثرات (الغلايات) وذلك بالنسبة لقيمة معينة من المياه المقطرة المنتجة .

البخار المطلوب (كجرام) $= \frac{K}{N}$ (كجرام مطلوب) حيث N هو عدد المؤثرات في التبخير متعدد الغلايات ، K هو ثابت يتوقف على التصميم (عدد المؤثرات يجب أن يكون أقل من أو يساوي ثمانية) .

مع زيادة عدد المؤثرات فان تكلفة إنتاج الكيلوجرام من المياه المقطرة تنخفض . مثال كالآتي لجهاز من ستة مؤثرات :

لانتاج ١٠٠٠ لتر من المياه المقطرة يلزم توفير :

مياه تغذية	١١٠٠ كيلوجرام
بخار ٩ جوي	٢٣٥ كيلوجرام
مياه تبريد	١١٣ كيلوجرام

هذا مقارنة لانتاج ١٠٠٠ لتر من المياه المقطرة باستخدام جهاز تقطير وحيد التأثير حيث يلزم ١٢٠٠ كيلوجرام من البخار ، ١٢٠٠ كيلوجرام من مياه التبريد .

المعالجة المسبقة : إما بإزالة العسر أو بإزالة الأيونات .

نوعية المياه المنتجة :

المياه المنتجة من نظم المؤثرات المتعددة تكون نقية من الناحية البيولوجية وذات توصيل كهربي يساوي أو أقل من ٠,٥ ميكروسيمنز/سم . وهو غير مسبب لارتفاع درجة حرارة الجسم عند استخدامه في المستحضرات الطبيعة للحقن (Apyrogenic) وهو متعادل .

التشغيل :

جهاز التقطير يتكون أساسا من مكثف مع التسخين المسبق لمياه التغذية ومن ٣ إلى ٨ أعمدة تقطير أو مؤثرات متصلة ببعضها على التوالي وعدد مساوي من المبادلات الحرارة بين المراحل الشكل (١٢/٢٨) . كل عامود تقطير في المنظومة يعمل عند ضغط مختلف ، وبزا يمكن نقل الحرارة الكامنة للتبخير من مؤثر إلى مؤثر . المؤثر الأول هو فقط الذي يتم توفير مصدر طاقة خارجي له . مياه التبريد مطلوبة فقط لجزء صغير من الطاقة الكلية وفي ٦-٨ مؤثرات يلزم كمية صغيرة جدا من مياه التبريد أو قد لا يتم الحاجة إليها . يتم توفير كلمة نضح مياه التغذية .

تسلسل التشغيل : (Operation Sequences) شكل (٤/١٦)

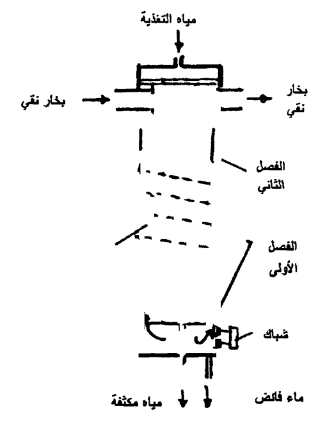
تتدفق مياه التغذية خلال مكثف التسخين المسبق وخلال كل المبادلات الحرارية ما بين المراحل . يدخل بخار الماء غرفة المبخر الأول (المؤثر الأول) ويسبب غليان مياه التغذية السابق تسخينها وتترك حزمة مواسير المبخر بسرعة عالية جدا . هذا الخليط من الماء / البخار يدخل قاع حيث يحدث له تغير مفاجئ في الاتجاه. وهذا الفصل الأول يزيل معظم نقاط وأجسام المواد الصغيرة . بعد ذلك يتدفق البخار خلال فراغ ضيق حلقي ، حيث يتم التخلص من نقاط المياه الصغيرة واي مواد عالقة من البخار بالطرد المركزي . هذه العملية الثنائية تزيل الملوثات المتبقية . الذي يترك العامود لتسخين المؤثر الثاني هو البخار النقي فقط . عندئذ يمكن الحصول على بخار نقي ومياه مقطرة نقية بعملية واحدة . المياه التي لا تتبخر في العامود تمر إلى المؤثرات التالية . البخار النقي من المبخر الأول وكل مبخر مؤثر تالي يتكثف إلى مياه مقطرة في العملية عند تسخين المؤثر التالي . هذه المياه المقطرة تدفع تحت ضغط حتى الوصول إلى المكثف حيث تعطي جزء من حرارتها إلى مياه التغذية الداخلة . البخار النقي من عامود التقطير الأخير يتوجه كذلك إلى المكثف حيث تتكون المياه المقطرة . الميزان الحرارى يتبقى لكمية مياه التبريد الصغيرة عند الحاجة .
يوجد تحكم آلي خاص بالتوصيل الكهربي والذي يعمل على صرف أي منتج غير مطابق . كل المراحل والخصائص يتم قياسها والتحكم فيها آليا ومركزيا . عند المخرج درجة حرارة المنتج هي ٩٥ - ٩٧° م .

التكاليف الاقتصادية :

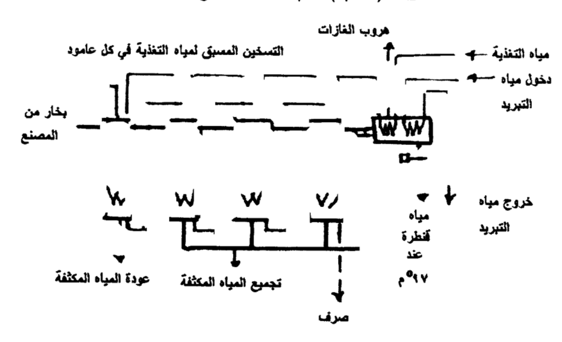
الشكل (٤/١٧) يوضح أن مقطر من ثلاث مؤثرات تستخدم ½ كجرام من البخار واقل من ١,٥ كجرام من مياه التبريد . لنفس حجم الإنتاج المقطر من ستة مؤثرات يستخدم ٠,٢ كيلوجرام من البخار وفقط ٠,١٥ كيلوجرام من مياه التبريد لكل كيلوجرام من المياه المقطرة . المقطر من سبع مؤثرات لا يحتاج إلى أي مياه تبريد مطلقا . وهذا أساسا هو العلاقة ما بين التكلفة الرأسمالية وحجم الإنتاج السنوى والذي يؤثر على اتخاذ القرار .

الشكل (٤/١٢) مخطط المقطر يستخدم لتقطير المياه للمستحضرات الدوائية (Pharmastill) . درجة حرارة المياه المقطرة ٩٥° م وأقل وهذه ظاهرة هامة في الصناعات الدوائية . وحدة التقطير مجهزة بمبادلين حراريين أحدهما التبريد بمياه التغذية والآخر التبريد بواسطة مياه مزالة العسر .

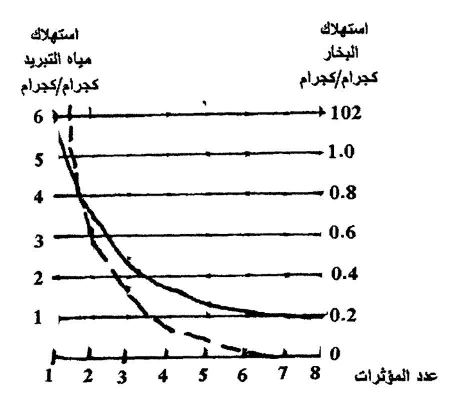
بالنسبة لاستخدام وتخزين المياه المقطرة في الصناعات الدوائية . بالنسبة للمياه المقطرة الباردة فان أقصى زمن تخزين هو ٢٤ ساعة ، وعمليا فان المياه يجب استخدمها مباشرة من وحدة التقطير . في حالة التخزين لمدة أطول فانه يجب رفع درجة حرارة المياه المقطرة إلى ٨٠° م . لذلك فان كل المياه المقرر تخزينها يجب إما إنتاجها بالطريقة الساخنة أو بتسخينها حتى ٨٠° م بعد الإنتاج بالطريقة البارد .



شكل (١٦أ/٤) نظام الفصل المزدوج للمبخر



شكل (١٦ب/٤)



شكل (٤/١٧) استهلاك الطاقة ومياه التبريد

الاختلاف بين المياه المقطرة الباردة والساخنة يكون في حجم مياه التبريد طبقا للجدول التالي بالنسبة لوحدة التقطير ذات المؤثر الواحد .

المياه المقطرة (درجة الحرارة)	الطاقة الحرارية ليكوات ساعة	مياه التغذية كيلوجرام	مياه التبريد كيلوجرام
١٠٠٠كجرام عند ٣٠°م	٨٠	١٠٥٠	١٢٠٠٠
١٠٠٠ كجرام عند ٧٠°م	٨٠	١٠٥٠	١١٠٠٠

إنتاج المياه المقطرة الباردة :

المياه المقطرة الباردة هي التي درجة حرارتها ما بين ٢٠ - ٣٠°م . في عمليات التصنيع للمنتجات الدوائية فان المياه المستخدمة في المستحضرات الطبية للحقن يجب تبريدها إلى درجة الحرارة هذه وذلك بسبب حساسية بعض المستحضرات لدرجة الحرارة . لذلك فان عملية الضغط الحراري هي المناسبة (Thermo Compression) لهذا الغرض .

٩ - إنتاج المياه المقطرة الساخنة :

إنتاج معظم شركات صناعة الأدوية يعتمد على توفر التعقيم وتخزين مياه خالية من البكتريا و الملوثات المسببة لارتفاع درجة حرارة الجسم (Pyrogen) . حيث ان ادنى درجة حرارة للتخزين هي ٨٠°م لذلك فان جهاز التقطير المنتج لمياه مقطرة ساخنة يمكنه تغذية التخزين مباشرة . نظم الإنتاج الطبيعي للمياه المقطرة الساخنة هي متعددة التأثير (Multiple Effect) وكذلك نظم الضغط الحراري بالبثق (Ejector- Thermocompression System) والأخير يحتاج إلى طاقة إضافية لرفع درجة الحرارة إلا ما لا يقل عن ٨٠°م .

الخاتمة :

ظل التقطير لمدة ٢٠٠ عام هو العملية الوحيدة القادرة على توفير المياه النقية الخالية من المواد العالقة و المذابة . ولكن في عام ١٩٤٠ ظهر التبادل الأيوني الذي أنهى هذا الاحتكار ، كما أن التناضح العكسى الذي ظهر عام ١٩٦٠ أضاف لهذا الاختيار . وحاليا أصبح التقطير يعتمد عليه في الحصول على مياه نقية للشرب أو للاستخدامات الأخرى .

الفصل الخامس

٥

اعزاب المياه المالحة

المياه العزبة المصنعة (Manifactured Fresh Water)

أو التحلية (الإعزاب) Desalination

التحلية كوسيلة لزيادة الموارد المائية :

تمثل المياه العزبة ½ % فقط من المياه على سطح الأرض ، ٩٧% مياه البحار والمحيطات ، ٢,٥% مياه مملحة (Brakish) لا تصلح للشرب لزيادة الأملاح المذابة بها . ولذلك فانه إن أمكن تحويل هذه المياه المالحة إلى الحالة العزبة فانه يمكن توفير مصدر مياه غير محدود . ولكن تقنيات التحلية تتطلب دراسات بحثية لتطوير اقتصاديات نظم التحلية والتي تشمل التقطير ، التناضح العكسي ، الاليكتروديا لسييس ، التجميد (Freezing) ، والبخر بفعل أشعة الشمس (Solar Evaporation) . ونظرا لارتفاع تكاليف التحلية فان استخدمها لم ينتشر حتى الآن إلا في حدود الحاجة الماسة .

١ - التحلية بالتقطير : (المكثفات) Desalination by Distillation

العملية المستخدمة على نطاق واسع لتحويل المياه المالحة إلى مياه للشرب هي بالتقطير . في هذه العملية يتم غلي أو تبخير المياه المالحة في وعاء مناسب للحصول على أبخرة لمياه نقية وسائل متبقى به أملاح مركزة . تجمع الأبخرة وتكثف لاستخدمها في مياه شرب . ولكن توجد حدود نظرية وعملية لتطبيقات التبخير في التحلية .

القواعد النظرية : أن اقل طاقة مطلقة (بصرف النظر عن نوع العملية) لفصل مخلوط متجانس من المواد إلى مكوناته ، تتوقف على الخواص الطبيعية للمخلوط عند البدء في الفصل وكذلك خواص المكونات عند نهاية العملية وهذه تعرف بطاقة الفصل المطلقة (Free Energy of Seperation) . ولتحقيق الاقتصاد في الطاقة للفصل هو باستخدام النظام المتعدد التأثير (Multi Effect system) . في هذا النظام تدفع أبخرة المياه النقية الناتجة في المرحلة الأولى لغلي الماء المالح بطريقة مناسبة إلى المرحلة الثانية . في هذه المرحلة الثانية عند تكثيف البخار تنطلق الطاقة الكافية لغلي المياه المالحة منتجة بخار ماء . عند استمرار هذه العملية

يمكن إنتاج رطل من المياه المحلاة باستخدام وحدة طاقة حرارية (1 Btu / 1b of water) .

القواعد التطبيقية : قبل البدء في التصميم الهندسي للتحلية ، يلزم أن يؤخذ في الاعتبار القواعد التطبيقية التي تؤثر على الكفاءة . من هـذه القواعـد عمليـة الانتقـال الحراري . يتناسب معدل الانتقال الحراري (Q,Btu / hr) مـع المسـاحة المعـدة للانتقال (Aft^2) ، ودرجة الحرارة (ΔT, F°) .

$$Q = UA\,\Delta T$$

U = معامل الانتقال الحراري (Btu / hr / ft^2 / F°) .

قيمة معامل الانتقال الحراري تتوقف على الفرق في درجات الحرارة ، السائل الباعث للحرارة والسائل الممتص للحرارة والشكل الهندسي ومساحة ومادة الانتقال الحرارى . ولذلك فعند زيادة معامل الانتقال الحرارى و/أو المساحة سيزداد معدل انتقال الحرارة، ولكن زيادة المساحة تعني زيادة في حجم المعدات ، ولذلك يهدف التصميم إلى زيادة معدل الانتقال الحرارى .

مياه البحر مخلوط معقد من المواد الصلبة المذابة والغازات والكائنات البحرية . المواد الصلبة المذابة تشكل خطورة في عملية التقطير نظرا لأن بعضها يتركز على سطح الانتقال الحراري ويرسب (Scaling) . الكائنات البحرية يمكن أن تسبب عـزل على سطح الانتقال الحرارى (Fouling) . هذين العاملين يعملا على خفـض الانتقـال الحرارى وبالتالي خفض كفاءة نظام التحلية . ولذلك يلزم المعالجة المسبقة لمياه البحر لإزالة أو تحييد اثر هذه المواد . اكثر المواد المسببة للترسيبات هي كبريتات الكالسيوم وايدروكسيد المغنسيوم وكربونات الكالسيوم . تتحدد درجة الحرارة وتركيز المحلـول الملحي بتركيز أيونات الكالسيوم والكبريتات ذلك لان كبريتات الكالسـيوم تنخفـض درجة إذابتها مع ارتفاع درجة الحرارة . ورغم ان ارتفـاع الحـرارة ممكـن إلا أن الكفاءة الأكثر هي بترسيب كبريتات الكالسيوم في مرحلة المعالجة المسـبقة . يبنـى الاختيار على العامل الاقتصادي ما بين زيادة الكفاءة أو زيـادة تكـاليف المعالجـة المسبقة. بخصوص الكائنات البحرية يمكن التخلص منها بكلورة المياه الخام لقتـل أي

كائنات موجودة ومنع نموها مستقبلا .

الاحتياجات المالية تقع تحت البنود التالية : ثمن المعدات ، ثمن الأرض ، تكاليف الطاقة ، تكاليف التشغيل والصيانة ، تكاليف المياه . ولهذا يلزم الدراسة الاقتصادية لكل هذه العناصر ليمكن خفض إجمالى التكاليف . توجد نماذج رياضية لدراسة اقتصاديات التحلية .

٢ - عمليات التقطير الواعدة :

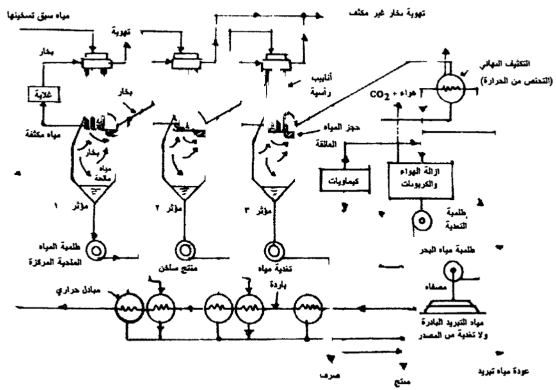
المبخر بالأنابيب العمودية : (VTE – Vertical Tube Evaporator)

الشكل المبسط لمخطط أداء المبخر بالأنابيب المائلة متعدد التأثير (Multiple – effect VTE) موضح في الشكل (٥/١) . في هذه العملية يتم تغذية المرحلة الأولى من سلسلة بمياه البحر التي سبق تسخينها ، وتتدفق المياه إلى اسفل (أو إلى أعلا) خلال سلسلة المراحل من الأنابيب كطبقة تغطية للسطح الداخلي للأنابيب . الإمداد بالبخار من الخارج الذي يتكثف على السطح الخارجي لأنابيب المرحلة الأولى يوفر الطاقة الحرارية لتبخير تدفقات المياه المالحة (التي سبق تسخينها) داخل الأنابيب . البخار المكثف يعود إلى الغلاية لاعادة تبخيره . بخار الماء الناتج من المرحلة الأولى يعمل كمصدر للبخار بالنسبة للمرحلة التالية والمياه المالحة المركز . والتي لم تتبخر من المرحلة الأولى يتم تغذية المرحلة الثانية بها . تستمر العملية لأى عدد من المراحل بما يوفر العامل الاقتصادي عمليا ، مع تكثيف بخار الماء الأخير بواسطة مبادل حرارى باستخدام مياه البحر ، مع صرف المياه شديدة التركيز الملحي .

التطوير الحديث في هذه العملية هو باستخدام أنابيب محززة (Fluted Tubes) بدلا من الأنابيب الناعمة المستديرة . هذه الأنابيب تزيد الكفاءة الكلية للانتقال الحرارة من ٢-٣ ضعف . وبذلك فإنها يمكن أن تجعل الانتقال الحرارى لنظام معين اكثر كفاءة أو تجعل الوحدات الصغيرة قادرة على تحقيق الفصل مثل الوحدات الكبيرة المجهز بالأنابيب التقليدية .

طريقة أخرى لزيادة معامل الانتقال الحرارى هي باستخدام مصفوفة من الأنابيب المائلة الأفقية (Staggerad Horizontal Tubes) . يسقط المحلول الملحي على

الأنابيب ويتبخر جزء منه (يتكثف البخار على السطح الداخلي للأنابيب) . المحلول الملحي المركز يتدفق اسفل الأنابيب . هذا التنظيم يوفر سطح معدني عاري على السطح العلوي للأنبوبة وطبقة سائل كثيفة على الجانب السفلي . واضح أن زيادة الانتقال الحراري على السطح العلوي اكثر من الخفض في الانتقال الحراري السفلي . كلا من الأنابيب المحززة والأفقية تتطلب تكاليف صيانة اكثر عن الأنابيب الرأسية في حالة الأنبوب المحزز يكون من الصعب إزالة الترسيبات على الانحناءات . وفي حالة الأنابيب الأفقية فانه يكون من الصعب نظافة السطح الخارجي للأنابيب مقارنة بالسطح الداخلي .



<u>شكل (٥/١) جهاز التقطير بالأنابيب الرأسية – ثلاثي المراحل</u>

٣ - المبخر بخفض الضغط متعدد المراحل - وحيد التأثير (Single Effect Multistage Flash)

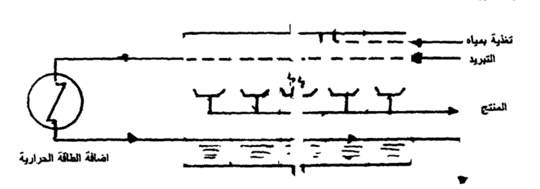
مبدأ عمل هذا الجهاز موضح في الشكل (٥/٢) . في هذا النظام كل الطاقة الحرارية الخارجية تضاف إلى المياه المالحة قبل أي عملية بخر . أثناء تحرر البخار في قطاع استعادة الطاقة لا تضاف أي طاقة إضافية . هذه العملية تخالف نظام المبخر

بالأنابيب الرأسية (VTE) والذي يتصف بإضافة طاقة خارجية مع تحرر البخار .

وتتكون العملية من قطاع إضافة طاقة – وقطاع استعادة الطاقة . قطاع إضافة الطاقة هو منطقة درجة الحرارة العالية في العملية . أما قطاع استعادة الطاقة فيتكون من عدد من الغرف حيث يحدث تحرر للبخار من المحلول الملحي . كل غرفة تعمل عند ضغط منخفض عن سابقتها . نظرا لأن الماء المالح يزداد في التركيز مع مروره من غرفة إلى أخرى ، فانه يلزم ضغط اقل لحدوث البخر . البخار المنطلق يتكثف بالتبادل الحراري مع المياه المغذية ، حيث يصرف المنتج نتيجة التكثيف .

رغم أن النظام الذي تم مناقشته مناسب لغرض التوضيح إلا أنه ليس الأفضل .

معظم المبخرات متعددة المراحل بتحرر البخار تعمل على أساس تدوير المياه المالحة . مخطط لهذه العملية موضح في الشكل (٥/٣) .

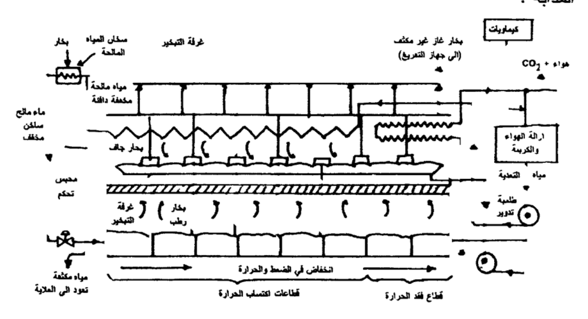


أشكال (٥/٢) عمل المبخر متعدد المراحل

عملية التدوير تكون معقدة عن جهاز المرة الواحدة ، ولكنها تعمل أساسا بنفس الطريقة لانتاج البخار بتبخير الماء المالح الساخن مع توفير كل الحرارة الخارجية قبل التبخير.

في أي العمليات ، نفس الكمية من المياه المالحة سوف ننتج نفس الكمية من مياه الشرب عند تبخيرها خلال نفس المجال للحرارة الكلية . لذا ، فان كمية المواد الصلبة المنتجة للترسيبات (Scales) هي نفسها التي تدخل الجهاز بتدوير أو بدون تدوير . ولذا فان هذه الطريقة تعتبر اقتصادية عند الإنتاج الكبير ولكن سلبياتها هو الخفض في درجة حرارة المحلول الملحي يسبب زيادة المحتوى من المواد الصلبة

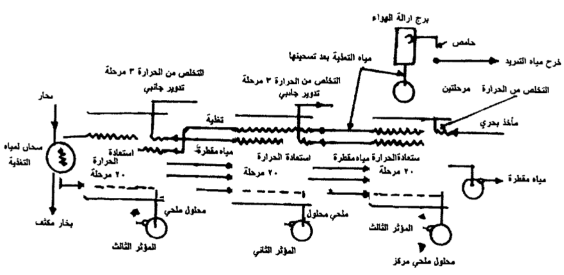
المذابة .



<u>شكل (٥/٣) مبخر متعدد المراحل بتدوير المياه المعالجة</u>

٤ - المبخر متعدد التأثير - متعدد المراحل : Multi effect Multistage

عملية التدوير التي تم مناقشتها سابقا مازالت تعتبر ذات مؤثر واحد (Single Effect) مع تغذية خارجية بالحرارة على جانب وفقد في الحرارة على الآخر . إلى درجة ما ، تصبح هذه العملية مؤثرة اكثر واكثر لمجال درجة حرارة معطي مع زيادة عدد المراحل . فرق الضغط اللازم لتحريك المياه المالحة من غرفة لأخرى عند درجة الحرارة المنخفضة والضغط المنخفض بنهاية الدورة هو العامل النهائي (الحدي) في معدل التدوير وعدد المراحل التي تستخدم . وللتغلب على هذه الحدود أمكن استخدام متعدد المراحل. متعدد التأثير كما هو موضح في الشكل (٥/٤) . عند العمل بهذا الأسلوب يمكن تقسيم المجال الكلي لدرجة الحرارة اللازمة للتبخير (Flashing) إلى عدد من مراحل درجات الحرارة . خلال كل مرحلة تعمل وحدة مستقلة ذات تأثير وحيد ومتعددة المراحل (Single Effect Multistage) .



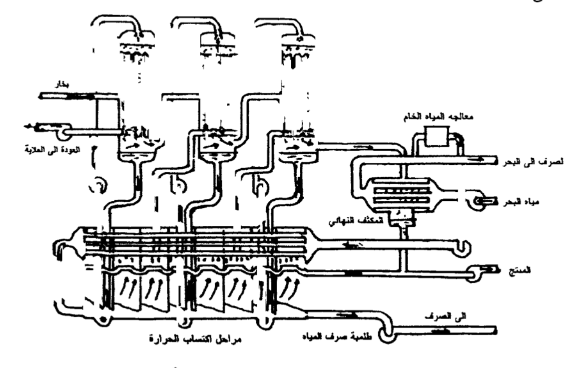
شكل (٥/٤) عملية التقطير متعددة التأثير متعددة المراحل

بالمدخلات الخاصة بها ، وكذلك استعادة الحرارة ، فقد الحرارة ، تدوير البخار . وهذه الطريقة تسمح بان يعمل كل مؤثر عند أقصى معدل تدوير المرتبط بالمجال الحراري لهذا المؤثر .

المؤثر الأول يستقبل الحرارة من مصدر حقيقي خارجي ، ولكن للمؤثرات الثاني والتالي تفقد الحرارة من المؤثر الأول إلى المحلول الملحي في المؤثر التالي . بهذا التطوير يمكن عمل اكثر من مرحلة تبخير (Flash) لمجال كلي لدرجة الحرارة للتبخير التي يمكن أن تعمل بوحدة ذات تأثير واحد (Single Effect) . وبهذا يمكن تحقيق أقصى استفادة بالطاقة المستخدمة (زيادة عدد جالونات المياه لكل وحدة حرارية) في كل عملية ذات تأثير واحد .

٤ - العمليات المركبة : (VTE/MSF – Combined Processes)

أحد طرق التحديث والتطوير في عمليات التحلية هو الارتباط ما بين المبخر والأنابيب العمودية والمبخر متعدد المراحل . المخطط لهذه الطريقة كما في الشكل (٥/٥) .



شكل (٥/٥) عمليات التقطير المزدوجة

في هذه الطريقة الوحدة المتعددة المراحل (MSF) تعمل للتسخين المسبق للمياه المالحة التي تغذي جهاز التبخير بالأنابيب العمودية (VTE) . استخدام هذه الطريقة بطاقة كبيرة توفر تكلفة إنشاء اقل بنسبة ١٥-٣٠% . في هذه العملية المياه المالحة يتم تسخينها المسبق في المبخر متعدد المراحل للمياه للمؤثر بالأنابيب الرأسية . المياه المالحة بدلا من نقلها إلى المؤثر التالي بالأنابيب الرأسية فإنها تنتقل إلى مجموعة انتقالية من المبخرات ذات المراحل المتعددة (MSF) . عندئذ تتبخر بعض المياه المالحة مكونة منتج وكذلك تساعد في التسخين المسبق للمياه . يتم تدوير المياه المالحة باستخدام طلمبات منفصلة من المبخر متعدد المراحل (MSF) إلى المؤثر بالأنابيب الرأسية (VTE effect) حيث يتم تبخير جزء من المحلول الملحي والباقي يتدفق بالجاذبية إلى المبرد ، مجموعة ذات ضغط منخفض من مراحل المبخرات متعددة المراحل .

٥ - موجز لميزات وعيوب عمليات التقطير :

١ - المبخر ذو الأنابيب العمودية (VTE) :

أ - المميزات :

- انخفاض في استهلاك الطاقة
- نسبة كفاءة عالية بخصوص إنتاج المياه لكل وحدة حرارية .
- الصرف للمياه المالحة بتركيز ملوحة عالي (أي استخدام مياه اقل لكل وحدة تقطير بما يخفض من تكاليف التسخين المسبق) .
- تحتاج إلى مساحة أرضية أقل .
- التكاليف الرأسمالية منخفضة .

ب - العيوب :

- وجود ترسيبات بالأسطح المعدنية الناقلة للحرارة الملاصقة للمياه التي تغلي
- الارتفاع الرأسي الضخم غير مريح .

٢ - المؤثر الواحد - متعدد المراحل : (SEMS)

أ - المميزات :

- خبرة كبيرة في التشغيل (معظم وحدات التحلية التي تعمل حاليا) .
- اقتصاد كبير في حالة الطاقات الصغيرة (اقل من ٢ مليون جالون في اليوم)
- سهولة نظافة الأنابيب (لا يوجد سطح معدني ناقل للحرارة ملاصق للماء المالح الذي يغلي) .
- مطالب الصيانة منخفضة .

ب - العيوب :

- انخفاض في نسبة الكفاءة .
- تشغيل محدود بسبب خصائص الإذابة لكبريتات الكالسيوم .
- زيادة في استهلاك الطاقة .
- يحتاج إلى مساحة ارض كبيرة .

٣ - المبخر متعدد التأثير – متعدد المراحل : (Multi effect – Multistage – Flash)

أ - المميزات :

- نسبة كفاءة عالية في التحلية تزيد عن SEMS
- كفاءة التحكم في كل مؤثر أفضل .
- التجاوز في الإذابة العالية يكبر ثبات الكالسيوم .

ب العيوب :

- متطلبات التشغيل معقدة وتتطلب عناصر مدربة جيدا .
- زيادة زمن البدء والإيقاف .
- محدودية التطبيق (جهاز واحد فقط في التشغيل)

٤ - العمليات المركبة : (Combined VTE / MSF)

أ - المميزات :

- كل المميزات التي تم مناقشتها في عمليات VTE ، SEMS .
- خفض حوالي ٣٠% من التكاليف الرأسمالية وحوالـــي ١٥% مـن تكـاليف الإنتاج مقارنة بالمبخر متعدد المراحل (MSF) في حالة الإنتاج الكبير باستخدام التسخين المسبق بواسطة (MSE) .
- سهولة التشغيل .

ب - العيوب :

- كل ما سبق ذكره بالنسبة لكل من المبخر بالأنابيب الرأســية (VTE) والمبخــر وحيد التأثير متعدد المراحل (SEMS) .
- خبرة التشغيل متوفرة حاليا في المراحل التجريبية .

٦ - التحلية بالتناضح العكسي (Desalination by Reverse Osmosis) (RO)

في حالة وضع غشاء مناسب كحاجز لاناء محتوى على مياه مالحة ، يلاحـظ انه عند توفير ضغط مناسب على سطح المحلول الملحي ، ستندرج مياه محلاه خـلال الغشاء . تسمى هذه الظاهرة بالتحلية بالتناضح العكسي أو التحلية بالترشـــيح العـالي (Hyper Filteration في الحقيقة ، رغم أن هذه التقنيات متقدمة جدا من الناحية الهندسية

وكذلك في تطبيقاتها المعملية إلا أن ميكانيزم الغشاء مازال غير مؤكد .

في الترشيح العادي ، يتم حجز الأجسام العالقة من السائل بطبيعة الحجز لمجال الترشيح . وفي الترشيح الفائق (Ultra Fitteration) تفصل أجسام صغيرة جدا في مجال الميكرون أو الجزء من الميكرون من السائل بالترشيح في غشاء به فتحات صغيرة جدا اصغر من مسام المرشحات العادية . المرشحات ذات الغشاء الذي به فتحات ميكرونية ويسمى (Microporous or Millipore) هي المستخدمة في هذا النظام للترشيح.

أما التعبير الترشيحي اكثر من الفائق (Hyper fitteration) يستخدم لإزالة الجسيمات أو المواد المذابة في المحلول باستخدام مرشحات . هذه المرشحات عبارة عن أغشية من البلمرات حيث تعمل الفتحات في مكونات البوليمر كمنخل لفصل أيونات المواد المذابة في حالة تميؤها أن أمكن من بين جزيئات المياه التي تحتويها وذلك من خلال مرور المياه من فتحات الغشاء . كما يلاحظ فيما بعد فان عمل التحلية بالتناضح العكسي لا تختلف عن الترشيح الأكثر من فائق (Hyper Filteration) ولذلك البعض يفضل التسمية الأخيرة والبعض الآخر يرى أن التناضح العكسي (Reverse Osmosis) اكثر ملائمة .

عند فصل المحلول الملحي من المياه النقية (Pure Water) باستخدام الغشاء التي ينفذ المياه ويحجز الملح المذاب ، يلاحظ أن المياه تعبر الغشاء إلى الجانب الملحى (حيث تركيز الملوحة أعلا) بما يسبب تخفيف للمحلول الملحي . درجة هذا الأداء هي مقياس للدفع الأسموزي لإلغاء الفرق في التركيز . الدفع الأسموزي يمكن قياسه بوحدات الضغط وتتوقف قيمته على تركيز المحلول الملحي . تصل نقطة الاتزان في الظاهرة الأسموزية عندما تصل قدرة المحلول الملحي لامتصاص الماء تتعادل مع الضغط الاسموزي للنظام . هذه العملية عكسية ، حيث تسليط الضغط على المحلول المحلى سيسبب عبور المياه النقية للغشاء (الغشاء نفاذ للماء وليس للملح) في الاتجاه الآخر في محاولة للمحافظة على الضغط الأسموزي الجديد حيث أحدهم هو ضغط مسلط صناعيا . ونتيجة لهذا الضغط على المحلول الملحي هو فصل المياه النقية

خلال الغشاء مع ترك المحلول الملحي الأكثر تركيزا . من هذه الخبرة ، لوصف حالة التحلية هي انعكاس الأسموزي الطبيعي . وسواء كانت التسمية الترشيح الأكثر من الفائق أو بطريقة أخرى ، فان الضغط الأسموزي يحقق الفصل للمياه النقية من محلول المياه الملحي . طبيعة الغشاء المستخدم أساسي للعملية .

خصائص الأغشية :

البوليمر الأول الذي أثبت أنه ملائم كغشاء للتحلية بالتناضح العكسي كان أسيتات السليلوز الثنائية (Cellulose Diacetate) ، حيث تم إعداده وتطويره إلى وضعه الحالى كغشاء قياسي . ولكن أظهرت الأبحاث أن اسيتات السيليلوز الثنائية ليست البوليمر الوحيد في قدرته على التحلية ، ولكن لم يوجد منافس لهذه المادة . قد تم تطوير تقنيات جديدة مختلفة بنيت على أساس الشعيرات الجوفاء باستخدام مادة البوليمر من البولي آميد (نوع من النيلون) .

غشاء السيليلوز داي اسيتات الغير متماثل :

Assymetric Cellulose Diacetate Membreme :

تم تطوير غشاء اسيتات السيليلوز الثنائية بقشرة رقيقة من أسيتات السيليلوز الثنائية المكثفة محملة على طبقة سميكة من بوليمر حساس . مهمة الغشاء هي حجز الأملاح بواسطة الغشاء السيليلوزي الكثيف (Dense) . أدنى حجز للأملاح بالنسبة لتركيزها في مياه البحر هو ٩٨% عند ضغط ١٥٠٠ رطل/البوصة المربعة . يمكن تغيير الأبعاد الكلية ولكن طبقة السيليلوز الكثيفة تكون مكونة من ٢٥ إلى ١٠٠ ذرة ، والسمك الكلي للغشاء يكون من ٤ إلى ١٠ مليمتر . كلما قل سمك طبقة السيليلوز الكثيف كلما انخفض الحجز ولكن رغم انخفاض السمك في حالة عدم وجود ثقوب او انحناءات فإنها توفر حجز مناسب للأملاح . كلما انخفضت كثافة الطبقة الرقيقة السيليلوزية كلما زاد معدل تدفق المياه المعالجة (Flux) ولكن نسبة حجز الأملاح تنخفض . الحامل المسامي من البوليمر لغشاء السيليلوزي يعمل أساسا لحمل هذا الغشاء الرقيق جدا كطبقة كثيفة مؤثرة ، به مسام كبيرة لاحتواء الأملاح المحجوزة أو للتحكم في نوعية التدفق عبر الغشاء . عند استخدام الغشاء الغير متماثل (المزدوج من

السيليلوز وحامل من البوليمر المسامي) . في الشكل المستوى فانه يوجد سطح علوي وسطح سفلي . السطح السيليلوزي الكثيف يجب أن يواجه المحلول الملحي والطبقة المسامية ترتكز على لوح حامل الغشاء . في حالة الوضع العكسي يزداد تركيز المحلول الملحي في الطبقة المسامية وينتج عن ذلك تأثيرات استقطاب ، بالإضافة إلى أن تأثير الضغط على الاتصال ما بين الغشاء من البوليمر المسامي وحامل الغشاء يمكن ان يتلف استمرارية الطبقة السيليلوزية الكثيفة مع فقد خاصية حجزها للأملاح .
في التطبيق العملي ، نادرا ما يستخدم الغشاء في الشكل المستوى نظرا لأن التصميمات الأسطوانية (Tubular Design) توفر مساحة سطح أكثر تأثيرا لكل وحدة حجم من الفراغ .

مشاكل التناضح العكسي : (Problems Of Reverse Osmosis)

احتياجات الضغط الجوي للتأثير في عملية التناضح العكسي والتي تصل إلى ١٠٠ جوي في حالة تحلية مياه البحر أو حتى ٥٠ جوي في حالة تحلية المياه الأقل ملوحة (المملحة – Brakish) هذا الضغط يعمل على دمج الغشاء . دمج الغشاء ينتج عنه زيادة الكثافة والتي تقلل من معدل تدفق المياه للجهاز (Flux) . وقد أجريت أبحاث كثيرة حققت بعض النجاحات للتغلب على مشكلة الدمج هذه . ولكن مازالت الأغشية المتاحة تجاريا يحدث لها بعض الدمج الذي يصاحبه خفض في معدل تدفق المياه .
المشكلة الفنية الثانية هي الاستقطاب (Polarization) المصاحبة لعملية التحلية بالتناضح العكسي . نتيجة انعكاس العملية الأسموزية تتدفق المياه النقية خلال الغشاء من المحلول الملحي تاركة محلول ملحي عالي التركيز (Brine) . وقد وجد في أثناء التشغيل انه رغم تدفق المياه المالحة الخام ، فانه يحدث تركيز لملوحة عالية محلية على سطح الغشاء . وهذه تعمل على زيادة متطلبات الضغط لتحقيق التناضح العكسي الحقيقي ، بمعنى أن الضغط الثابت المستخدم لتحقيق التدفق المناسب للمياه المالحة (الخام) يسبب انخفاض في التدفق عند الملوحة العالية على سطح الغشاء بسبب استقطاب الملح .

في تصميم الخلية يؤخذ في الاعتبار خفض الاستقطاب وتأثيراته وذلك بالعمل

على غسيل سطح الغشاء بزيادة المياه الداخلة . كذلك ينظم التدفق المضطرب لتقليـــب وإزالة طبقات الاستقطاب ، بالنسبة للوحدات التجارية تم حل هذه المشكلة بـــالتصميم المناسب.

يرتبط ضعف الغشاء المستخدم في التناضح العكسي بعملية التشغيل سواء كان الغشاء من المادة السيليلوزية أو النيلون التي لا تتأثر بالماء . يلزم التحكم في الرقـــم الهيدروجيني للمياه للمحافظة على الغشاء وعدم إتلافه وتحلله بفعل المـــاء (Hydrolytic Degradation) . كما أن استخدام مؤكسد مثل الكلور يسبب إضعاف للغشاء مما يتطلب إضافة مواد إزالة للمؤكسد في المياه التي عولجت بالكلور . كذلك يلزم التخلص مـــن المواد العالقة والتي تسبب انسداد الغشاء . كذلك فان عسر المياه يلزم ان يؤخـــذ فـــي الاعتبار . ولذلك فانه يجب الربط بين كفاءة الأداء لنظام التناضح العكسي والمعالجـــة المسبقة المناسبة للمياه . أن كانت مياه الآبار المالحة عند استخدامها في التحلية توفـــر كثيرا من متطلبات المعالجة المسبقة .

وحدات التحلية بالتناضح العكسي التطبيقية :

مشكلة نجاح تطبيقات أغشية التناضح العكسي في التحلية هي تكاليف الإنشاء، أما مفتاح تكاليف التشغيل فهو المساحة السطحية للوحدة .

التصميم في شكل أنابيب : Tubular Design

تلجأ بعض الوحدات الإنتاجية إلى التصميم المبنى على الغشاء الأنبوبي ، وهذا التصميم يعمل على اضطراب التدفق والذي يقلل من اســـتقطاب تركـــيز الأمـــلاح . التصرف الأنبوبى يتداول مادة معينة بطريقة افضل . وهذا مهم في حالة البيئة الغـــير مائية مثل حالة شرش اللبن (Cheese Whay) من الماشية . كما انه من السهل نظافـــة الأنابيب باستخدام الكرات الإسفنجية . الغشاء القياســـي (Leop – Type) مـــن مـــادة السيليلوز ثنائي الاسيتات (Cellulose Diacetate) سواء كان منبسط أو أنبوبى له قـــدرة تدفق (Flux) من ٥ إلى ٢٠ جالون في اليوم/القدم المربع عنـــد ضغـــط حوالـــي ٦٠٠ رطل/البوصة المربعة. عند استخدام مياه ذات ملوحة ٢٠٠٠ إلى ٤٠٠٠ جـــزء فـــي المليون سوف ينتج مياه ذات نسبة تخلص من الأملاح من ٩٠ إلى ٩٥% .

قامت شركة أبكور (Abcor Corporation) بإنتاج وحدات تناضح عكسي أنبوبية جاهزة . كل وحدة (Module) تحتوى على غشاء بمسطح ٣٨ قدم مربع ويمكن زيادة سطح الغشاء الى ١١٧ قدم مربع بإضافة وحدات . كل وحدة بمسطح ٣٨ قدم مربع طاقتها اليومية ٤٠٠ جالون في اليوم . غرفة جهاز التحلية تحتوى على طلمبة رداخ تعمل بالضغط المرتفع (High Pressure Diaphragm Pump) ، ونظم التحكم في التدفق والضغط والتوصيلات الكهربية .

وفي هذا النموذج استخدمت الوحدات الأنبوبية (Tubular Moduls) . كل وحدة يتكون من حزمة من أنابيب مسامية من الإيبوكسي المسلح بالصوف الزجاجي ذات قطر حوالي ½ بوصة . يلف غشاء أسيتات السيليلوز في شكل أسطوانة مع تطابق بسيط ويوضع في الأنبوبة . الظاهرة في هذا المنتج انه يمكن بسهولة استبدال الغشاء السيليوزي . بسبب الترسيبات والتحلل والانضغاط وما تسببه من ضعف الإنتاجية فانه يمكن تغيير الغشاء كل فترة تتراوح بين ستة أشهر الى عامين طبقا لطبيعة السائل المستخدم .

التصميم باللف الحلزوني : Spiral – Wound Design

التصميم باللف الحلزوني يمكن من استخدام مساحة سطحية للغشاء كبيرة جدا عن تلك المستخدمة في حالة التصميم الأنبوبي وذلك بالنسبة لنفس الأبعاد لوحدة التحلية. وقد استخدم اللف الحلزوني للغشاء السليلوزي وبهذا التصميم يمكن أن يحتوى قدم مكعب من إناء ضغط على عدة مئات من الأقدام من الغشاء شكل (٥/٦) . نموذج للتصميم موضح في الشكل (٥/٧) ، يتم الترشيح الأولى للمياه الخام والمعالجة بالحامض ، ثم التدفق نحو المضخة حيث تضغط المياه ثم تمر من خلال أغشية التناضح العكسي ، المواسير . الطاقة الميكانيكية المطلوبة يمكن توفيرها باستخدام محرك طلمبة يعمل بالكهرباء . يمكن استخدام وحدات صغيرة لتوفير مياه عالية النقاوة للأغراض المنزلية والمستشفيات ، والفنادق ، وتلبية الاحتياجات العسكرية في المناطق الاستراتيجية شكل (٥/٨) .

التصميم بالشعيرة الجوفاء : Hollow Fiber Design

التصميم بالشعيرات الجوفاء لتحلية المياه يحتوى عدة أضعاف من أسطح الغشاء في وحدة المساحة الفراغية عن أي نظام آخر ، وهذا النظام هو وليد للأبحاث الخاصة بصواريخ الفضاء . الشعيرة الجوفاء لها عمر افتراضي من ٢-٣ سنة . وهي تصنع من مادة بوليمر البولي آميد (Aromatic Polyamide Polymer) . غشاء البولي آميد له قدرة عالية لحجز الأملاح ، ولكن معدل الإنتاج هو فقط ٢-٤ جالون في اليوم /القدم المربع عند ضغط ٤٠٠ رطل /البوصة المربعة ، ونسبة حجز الأملاح من ٩٠ إلى ٩٥% .

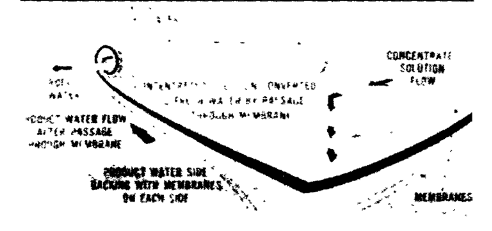
في وحدة التحلية (Permasep) يمكن تعبئة ٢٠ مليون شعيرة جوفاء كل شعيرة اصغر من الشعرة الادمية في خرطوشة بقطر واحد قدم وطول فعال ٧ قدم شكل (٥/٩) . وهذا يوفر ٩٠٠٠ قدم مربع من سطح الغشاء النفاذ للماء لكل قدم مكعب من الحجم . وهذا يعادل ٥٠٠٠٠ قدم مربع في كل وحدة تحلية وهذه المساحة تزيد عن الهكتار وأكبر من مساحة ملعب كرة قدم . وهذه المساحة الكبيرة توجد في وحدة ذات حجم فعال ٥.٥ قدم مكعب فقط .

واجمالي الأطوال للشعيرات الجوفاء حوالي ٢٨٠٠٠ ميل اكبر من محيط الكرة الأرضية . طاقة وحدة التحلية بالشعيرات الجوفاء قطر قدم وطول ٧ قدم هي ٧٥٠٠ جالون في اليوم/الوحدة مبني على إنتاج مياه محلاة (Flux) بمعدل ٠,١٥ جالون في اليوم/القدم المربع . يلاحظ أن الإنتاجية اقل من التقنيات الأخرى ، ولكنها تعوض بقوة والعمر الافتراضي للبوليمر المصنوع منه الغشاء والزيادة الكبيرة في المساحة السطحية عند استخدام الشعيرات الجوفاء .

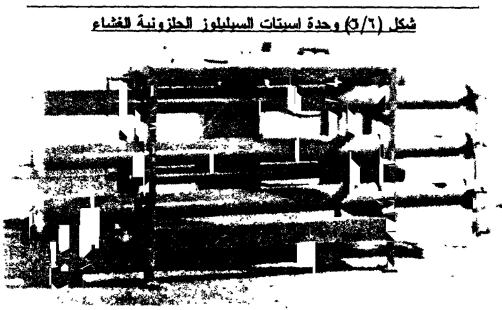
النموذج المنزلي House Hold Model

تم استخدام عملية التناضح العكسي في الأغراض المنزلية حيث أنتجت شركة (Culligan) هذا الجهاز أبعاده هي ارتفاع ١٤ ٣/٤ بوصة ، عرضه ١٠ ١/٢ بوصة ، سمكه ٥ ٥/٨ بوصة . صمم ليناسب الاستخدام في المطبخ . يحتاج إلى توصيلات كهربية ويعمل تحت ضغط ماء الصنبور. تستخدم ماسورة بقطر ٣/٨″ أو ١/٤″ لامداد

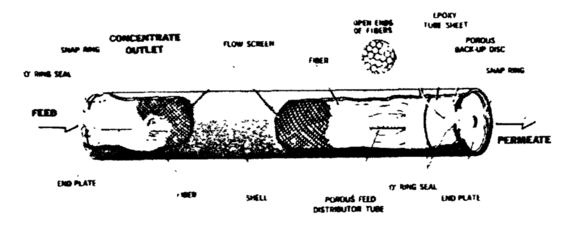
الجهاز بالماء . لصرف المياه الملوثة تستخدم ماسورة شعرية صغيرة . لاعاقة تدفق المياه فان استخدام ماسورة شعرية يحافظ على الضغط على الغشاء . تمر المياه خلال المرشح قبل دخولها إلى وحدة التناضح العكسي الأنبوبية التي تحتوى على غشاء بسطح ٥ قدم مربع . تحتوى الوحدة كذلك على مرشح من الكربون للإزالة النهائية للمذاق والرائحة. يصمم الجهاز لاستخدامات منزلية مختلفة (لانتاج البخار اللازم لكي الملابس بالبخار، للترطيب ، لتوفير المياه الصالحة لإعاشة الأحياء المائية والحيوانية والنباتية ، غذاء للأطفال ، الأغذية الخالية من الأملاح ، يمكن للوحدة إنتاج حتى ٣ جالون من المياه في اليوم .



شكل (٦/ك) وحدة اسيتات السيليلوز الحلزونية الغشاء



شكل (٨/ق) صورة لنظام التعلية بالتناضح



شكل (٩/٥) تصميم الشعيرة الجوفاء

٧ - إزالة الملوحة بالديلزة الكهربية (Desalination by Electrodialysis – ED)

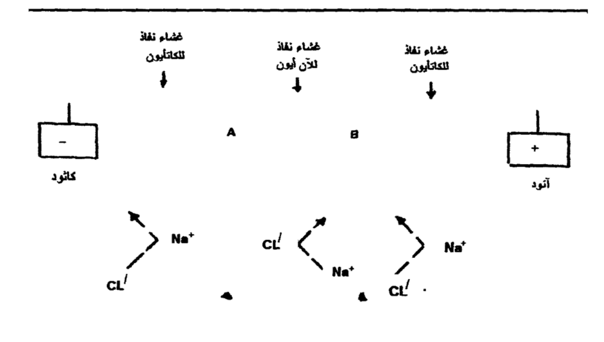
في عملية الديلزة الكهربية (التحليل الكهربي) للتحلية ، تزال أيونات الأملاح من المياه المالحة تحت تأثير التيار الكهربي . تمرر المياه المالحة في قناة ضيقة أحد أجنابها غشاء نفاذ للآن أيونات والآخر غشاء نفاذ للكاتأيونات . وخاصية الاختيار للغشاء تتوقف على البناء لجزيئات البوليمر الذي يصنع منه الغشاء . ولذا فان الغشاء الذي تنفذ منه الآن أيونات به مجموعات كاتأيونات أو موجبة الشحنة . ولهذا يكون غير منفذ للكاتأيونات ، مثل حالات الأجسام التي تحمل شحنات متماثلة يدفع كل منهم الآخر بعيدا . وعموما فان البدائل للكاتأيونات هي مجموعات الأمين(Amino Groubs) . ومجموعات الآن أيونات تكون عادة شديدة الحموضة (Sulfonic Acid Units) أو من حامض ضعيف (Carboxylic Acid Radicals) . وقد تكون كذلك لها دلالات حامضية أو من حامض الفوسفوريك .

عند البحث عن أداء التيار الكهربي ، نرى أن ايونات الصوديوم تعبر خلال الغشاء النفاذ للكاتأيونات وتترك غرفة التغذية بالمياه المالحة . أيونات الكلوريد تتحرك في الاتجاه الآخر نحو الآنود حيث تنفصل من غرفة التغذية بواسطة الغشاء النفاذ للآن أيونات . الفقد في هذه الأيونات المكونة للأملاح من غرفة المياه المالحة ينتج عنه فقد نهائي في الملوحة . والحصول على إزالة الملوحة بهذه الطريقة هو هدف الديلزة (Electrodialysis) . درجة إزالة الملوحة هي نتيجة مرور التيار الكهربي خلال الخلية وتقاس الكفاءة بمدى الاستفادة بالتيار الكهربي في نقل الايونات ، وليس في تحويلها

إلى طاقة حرارية في التغلب على المقاومة الكهربية الداخلية للوحدة ، أو فقدها في أحد الصور الكهروكيميائية . ولهذا فان الغشاء يجب ان يمرر بسهولة الأيونات لخفض المقاومة الداخلية ، والعنصر الآخر لكفاءة التيار الكهربي هو القدرة الضعيفة على نقل الماء وذلك للحصول على اكبر إنتاجية من المياه المحلاة . أما العنصر الثالث فهو أن يكون الغشاء قادرا على التمييز بين الأيونات مختلفة الشحنة ، والذي يتضح عند استخدام خلية أو اكثر ، بطارية المكونة لجهاز التحلية بطريقة الاليكتروديالسيس (ED).

الخلية المزدوجة : (Cell pair)

بفرض خلية مقسمة إلى غرفتين بواسطة غشاء نفاذ للآن أيونات . وحدود الغرفتين من غشاء نفاذ للكاتأيونات . نتيجة لذلك كل غرفة تعرف بالتغير في الغشاء الاختباري للأيونات شكل (١٠/٥) .



شكل (١٠ / ٥) الخلية المزدوجة من غرفتين

بالنسبة للغرفة (A) حيث تدخل مياه التغذية الخام . تحت تأثير التيار الكهربي تتحرك أيونات الصوديوم خارج الغرفة من خلال الغشاء النفاذ للكاتأيونات في اتجاه الكاثود (ـ) .

وبالمثل ولكن في الاتجاه المعاكس فان أيونات الكلور تعبر غشاء الآن أيـــون الى الغرفة (B) . ولهذا يصبح المحلول في الغرفة A مخفف . ولـــهذا مـــن منظومـــة الخلايا الزوجية على يمين هذه الوحدة تتحرك أيونات الصوديوم إلـــى الغرفـــة (B) . وبذلك بينما تزداد درجة التخفيف فى الغرفة A ، فان الغرفة B تزداد فـــي التركـــيز . التجهيز المتكرر لهذا النموذج للخلايا المزدوجة يكون نظام الديلزة (Electrodialysis) .

اعتبارات الكفاءة :

عملية الديلزة (E D) مثل كل باقي العمليات لها كفاءتها . توجد إعاقة لســريان التيار الكهربي خلال مصفوفة الخلايا ، تمثل الواجهة بين الغشاء والمحلـــول (Inter f ace) مثل هذه المقاومة . الأغشية نفسها ليست ذات كفاءة في تمريرهـــا للأيونـــات ، ولذلك تفقد طاقة في تسخين الغشاء والمحلول الاليكتروليتي . يضاف إلى هذا الفقد في الطاقة الفقد الناتج عن تأثيرات الاستقطاب بسبب تركيزات الأملاح . ولذلك فان الطاقة النظرية اللازمة للعملية الاليكتروليتية تزداد عن التطبيق العملي .

الكفاءة الكلية للعملية تكون نتيجة عدة عوامل تلك التي تؤثر على كفاءة التيار، استخدام التيار ، فرق الجهد المطلوب والاستقطاب . يرتبط كفـــاءة التيـــار بـــانطلاق أيونات الهيدروجين والايدروكسيد ، بخفض تمرير الغشاء للأيونات ، زيـــادة مـــرور المياه عبر الأغشية ، بوجود ممرات للتيار خلال المصفوفة متوازية ومتغيرة .

يمكن تعريف الكفاءة الكلية بأنها التيار الفعلي اللازم لإنتاج كمية من المياه العزبـــة ، مقارنة بالتيار النظري اللازم الأداء .

استخدام التيار يرتبط بدرجة إزالة الملوحة الناتجة إلى كمية التيار المار خـــلال مصفوفة الديلزة . وهي بذلك قياس لعملية إزالة الملوحة .

الاستقطاب :

تفاعلات الأقطاب واثرها Elect rode Reactions And their Consequences

في المحلول يحمل التيار بواسطة الأيونات . في حركة الأيونات والتي تمثـــل التيار الكهربي والذي ينتهي عند الأقطاب . عند قطب الآنود ، تحيـــط الآن أيونـــات بالإليكترونات والتي في مجملها تشكل التيار الكهربي . عند قطب الكاثود (ـــ) تمتص

الكاتأيونات الإليكترونات اللازمة لتحويلها إلى ذرات متعادلة . ينتج عن حركة الإليكترونات التي تحدث عند الأقطاب تفاعلات كيميائية التي يجب أن تتوافق مع تصميم المصفوفة .

ولذا عند استخدام معدن غير نشط مثل البلاتين كأقطاب متصلة بمياه البحر أو أي مياه مالحة أخرى ، فان أيونات الكلوريد مع أيونات الايدروكسيد تفقد الإليكترونات عند الآنود لإنتاج الهيبوكلوريت $Cl' + 2OH' - 2e' \rightarrow OCl' + H_2O$

في المجال الحامضي ينطلق غاز الكلور (غاز) $2Cl' + 2e' \rightarrow Cl_2$

وغاز الكلور المنطلق من المجال المائي يسبب مخاطر ، والجزء الباقي المذاب في الماء يكون محلول متوازن من حامض الهيدروكلوريك وحامض الهيبوكلورس . حامض الهيبوكلورس يتحلل مكونا أيون الهيبوكلوريك

$$HOCl \rightarrow OCl' + H^+$$

وهو يشبه الكلور في قدرته على الأكسدة بما يمكن ان يؤكسد ويحلل المكونات العضوية للمصفوفة (الأغشية) .

عندما تكون الكبريتات موجودة على حساب الكلوريدات ، كما في حالة المياه عالية الكبريتات منخفضة الكلوريدات ، فان تفاعل القطب سينتج عنه أيونات الايدروكسيد أو التحلل للماء . وبذلك ينطلق غاز الأكسجين مع تولد أيونات الهيدروجين

$$H_2O - 2e' \rightarrow 2H^+ + \frac{1}{2}O_2$$

ونتيجة لهذا التفاعل يحدث التحلل بالأكسدة وكذلك التآكل الحامضي . في الواقع فان المياه الخمضاء (Brakish Waters) تحتوى على تركيزات عالية من الكبريتات والكلوريدات .

ولذلك يمكن إنتاج كلا من غازات الكلور والأكسجين .

الأقطاب المستخدمة يجب أن تكون مقاومة للتفاعلات الكيميائية التي تحدث على سطحها . ولذلك فعند استخدام آنودات من الحديد أو الكربون فإنها تستهلك

بالتدريج حيث يتأكسد الحديد إلى الأكسيد والكربون إلى ثاني أكسيد الكربون .

عند الكاثود الكاتأيونات مثل أيون الهيدروجين يتحول إلى غاز الهيدروجين .

$$2H_2O + 2e' \rightarrow H_2 + OH$$

يصاحب ذلك تراكم أيون الايدروكسيد . وهذا يسبب زيادة القلوية التي تسبب مشاكل الكاتأيونات مثل أيونات العناصر الثقيلة التي تلي الهيدروجين في سلسلة القوة الدافعة تترسب على سطح الكاثود . وهذا نتيجة توفر الاليكتروتات اللازمة لتعادل الشحنة عند هذا القطب تفاعلات الأقطاب تتطلب التعامل معها من نقطتين . الأولى المحافظة على أداء المصفوفات ومنع تسممها ويتم ذلك عادة بالعزل الهيدروليكي لغرف الأقطاب وذلك بتوفير تدفقات غزيرة من مياه التغذية . وفي بعض الحالات يلزم ضبط التغير في الرقم الهيدروجيني باستخدام مواد مناسبة للتعادل . كما ان تراكم الكلور يمكن معالجته باستخدام عامل مختزل مثل كبريتيت الصوديوم (Saduim Sulphite) النقطة الثانية في تفاعلات الأقطاب هي اقتصاديات التحلية والتي يجب ان تؤخذ في الاعتبار نظرا لاستهلاكها للطاقة الكهربية .

٨ - التحلية بتحويل المياه إلى جليد (تجمد) : Desalination by Freezing

الحصول على المياه النقية من المياه المالحة باستخدام الحرارة يمكن كذلك تحقيقه باستخدام التبريد وبالتحديد التجميد . تجمد المياه المالحة ينتج عنه بللورات نقية من الثلج من بين المحلول الملحي . إزالة هذه البلورات الثلجية واعادة ذوبانها ينتج عنه مياه خالية من الأملاح . مقارنة باستخدام الحرارة فان عملية التجمد لها مميزاتها وعيوبها . من بين هذه المميزات هي الطاقة الحرارية الصغيرة المطلوبة . الطاقة الحرارية للإذابة (Latentheat of Fusion) تعادل ١/٧ من الطاقة الحرارية اللازمة للبخر . كما يمكن من خفض التكلفة عند استخدام عملية التجمد في درجة حرارة منخفضة . ولكن تكاليف الوحدات الحرارية في التبريد اكبر كثيرا عن المستخدمة في التسخين ، بما يتطلب رفع كفاءة العملية . توجد خاصتين تتميز بهما عملية التبريد . وهما الآثار التي تسببها ارتفاع درجة حرارة المياه المالحة على مواد الإنشاء مثل المعادن من الصلب أو الخرسانة مثل التآكل والتلف وهذه الآثار تنخفض بدرجة كبيرة

في حالة درجة حرارة التجمد . وهذا يخفض من تكاليف المواد المستخدمة في الخزانات والمعدات . هذا بالإضافة إلى عدم الحاجة إلى التوقف وذلك لعدم حدوث ترسيبات على أسطح التبادل الحراري .

يعتبر التبادل الحراري خلال الأسطح ذو أهمية خاصية في عمليات التحلية المختلفة . تحقيق معامل انتقال حراري عالى مكلف . في عملية التبريد حتى التجمد الأداء الأولى للانتقال الحراري هو الاتصال المباشر للسوائل ذات درجات الحرارة المختلفة . نتيجة لذلك ، فان عملية التجمد تحقق معامل انتقال حراري عالي ، وبذلك تنخفض تكالفة التصميمات الهندسية اللازمة لزيادة معامل الانتقال الحراري .

ولكن توجد سلبيات لعملية التجمد . يتم الحصول على المياه النقية في شكل ثلج ، وفصل بلورات الثلج النقي تتطلب خطوة منفصلة .

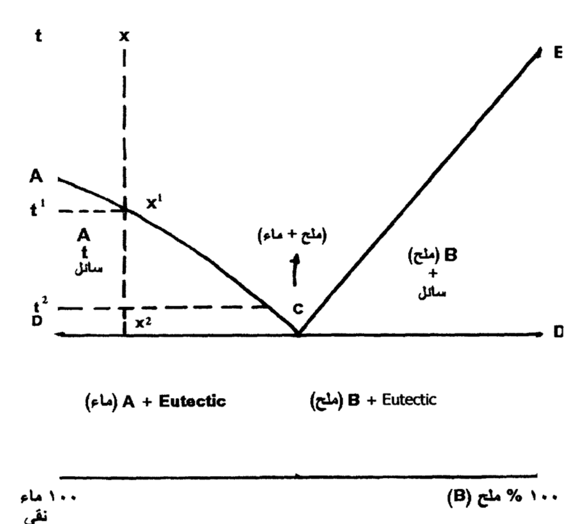
الطاقة الحرارية لتحويل المياه إلى بلورات (Latent Heat of Crystalization) ثلجية يمكن استخدمها في إذابة هذا الثلج . وهذا هو الجزء المقابل لحرارة التكثيف في عملية ضغط البخار المستخدم لتوفير الطاقة الحرارية للتبخير (تحول المياه إلى بخار) . كذلك نظام التجميد يحتاج إلى إنشاءات ضخمة لتكون متعددة المراحل ليمكن إعادة استخدام الطاقة الحرارية الكامنة (Latent Heat) التي أدخلت في تغير حالة الماء . ذلك لان عملية التجميد يجب أن تتم عند درجة حرارة ثابتة . أحد سلبيات الهامة في خصائص التجمد هو التخلص من المياه المالحة .

تحسين أداء العملية لزيادة تطبيقاتها العملية يتطلب (١) زيادة حجم بللورات الثلج لتسهيل فصلها وخفض الادمصاص بالمياه المالحة عند زيادة المساحة السطحية (٢) تحسين تداول بللورات الثلج (عموما بقطر ١مم) (٣) زيادة معدل التجمد . معظم هذه الاعتبارات مرتبطة بالعمليات المنفصلة (Patch Process) .

مبادئ التحلية بالتجمد :

عملية الفصل لبللورات الثلج من المحلول الملحي الذي تعرض لعملية تجميد تتوقف على خصائص حالة الاتزان التي تشمل المجال السائل والمجال الصلب . نوعية هذا النظام موضحة في مخطط المجال (Phase Diagram) شكل (١٠/٥) .

المادة A تمثل الماء ، المادة B تمثل الملح ، معظم الأمـــلاح مثـــل كبريتـــات الصوديوم تكون (Eutectic) الحد الأدنى من الإذابة مع الماء . وهـــذه عمومـــا تمثـــل حالات معينة من التميؤ . في المخطط العام يكون هذا الحد الأدنى ممثل بالنقطـــة C . لأغراض إزالة الملوحة يؤخذ في الاعتبار الجزء من المخطط على اليسار ، المنطلقـــة ما بين ١٠٠% مياه نقية (A) والحد الأدنى (C) تمثل بعض من الاتحاد بين الملح والماء . عند أي مكونات كما في الحالة X ما بين الماء النقي A ، C عند درجة حـــرارة t ، خفض درجة الحرارة إلى t^1 سيسبب انفصال المحلول الملحي إلى مادتين وهما مركب نقي A (الثلج) زائد محلول ملحي . ظهور الثلج يمثل ظاهرة التجمد للمياه النقية .



شكل (٥/١٠) مخطط المجال في النظام المتعادل

طبقا لقانون الرافعة فان الكميات النسبية للثلج والمحلول الملحي النـــاتج عـــن التجمد إلى درجة حرارة t^n تمثل بمقلوب بأطوال الخطوط من النقطـــة X^n إلـــى خـــط التغير في المجال AC ، من النقطة X^n إلى الخط الذي يمثل ١٠٠% ماء (A) . إذا كانت درجة حرارة المحلول الملحي ذات مكونات X وانخفضت درجة حرارتها إلى t^2 عندئذ وطبقا لقانون الرافعة ، عند النقطة X^n كمية اكبر من الثلج (مركب ١٠٠% مـــاء (A) يكون اكثر) يمكن إنتاجه . وهذا يبين الخبرة المعروفة ان انخفاض درجة الحرارة ينتج بتجمد (ثلج) اكثر .

استخدام المبردات : The Use of Refrigerants

يمكن استخدام الهيدروكربونات المســـيلة Liquified Hydrocarbon كمـــبردات بالاتصال المباشر مع المحلول الملحي . درجات حرارتها المنخفضة تساعد في تجمـــد المحلول الملحي . مثال لهذه المواد هو (n – butane) . إذابته في المياه المالحة ضعيف ودرجة غليانه عند الضغط الجوي هي تقريبا عند درجة تجمد مياه البحر . ولذلك عند تبخرها، فإنها تساعد في زيادة تبريد المياه المالحة الجاري معالجتها . لها ميزة إضافية وهي السعر المنخفض ، عند استعراض الكميات الفاقدة أثناء التجمد ، ولهذا لا تضيف كثيرا لتكلفة المياه المنتجة . في نظام الالتصاق المباشر يتم خلط البيوتين المثلج مـــع مياه البحر . يحدث تبادل حراري ، تتجمد المياه ، ويسخن الـــهيدروكربون . يـــزال البيوتين كبخار بخفض الضغط على إناء الخلط . حرارة تحويل المياه إلى بلورات التي تنطلق عند تكون الثلج تساعد في تبخير البيوتين ، ولتحقيق كفاءة العملية بهدف زيـــادة تأثير التجميد بفعل تبخير البيوتين يستخدم ماء البحر الذي سبق تـــبريده (Prechilled) . تزال بلورات الثلج المتكونة من مستحلب الثلج . الماء في المالح في عـــامود الفصـــل لفصل الثلج بتدفقات الغسيل العكسية Counter Current شكل (٥/١٢) . المحلول الملحي الذي أمتز على سطح بلورات الثلج يزال بالغسيل باستخدام مياه نقية . عندئـــذ تـــزال بلورات الثلج في مكثف الإذابة (Melter Condenser) بتحولها إلى مستحلب مع الميـــاه النقية . في المذيب (Melter) بخار البيتومين عند مقابلته بلورات الثلـــج التـــي تـــذوب يصبح باردا (Chilled) نظرا لأن الثلج يمتص منه الحرارة اللازمـــة للإذابـــة . هـــذه

المحافظة على تأثيرات التبريد تعتبر ظاهرة أساسية نحو اقتصاديات الجدوى للعملية . يستفاد كذلك بالمحلول الملحي الذي تم فصله من بلورات الثلج . حيث يتم في المبادل الحراري حيث المياه المالحة المبردة تقوم بتبريد مياه البحر المعدة للتجميد بواسطة البيوتين السائل .

للحصول على نمو بلورات الثلج مع تجنب الكميات الكبيرة من البللورات الصغيرة ، يتم العناية بالتصميم والتشكيل لوحدة التجميد . بقسم المجمد (Freezer) إلى أربع حجرات بواسطة بطاريات مثقبة . هذه التقسيمات تسمح بالتدفق البطيء لبلورات الثلج والمحلول الملحي لتتجه نحو جهاز فصل الثلج (Ice Decanter) ، مع خفض التدفق المعاكس وعدم التعرف على اتجاه التسرب في عينة هذا الحواجز . الحواجز المثقبة تمتد فقط فوق منسوب السائل بجزء صغير في جهاز التجميد . وهذا يمكن طبقة البيوتين السائل تخطي الأربع غرف والتدفق في الاتجاه المعاكس لحركة مخلوط الثلج والمحلول الملحي عند تحركه نحو جهاز الفصل (Decanter) .

طبيعي عند التدفق المعاكس يتبخر جزء من البيوتين . وهذا يخفض درجة حرارة المتبقى من المبرد ، ومع تقدم التبخر ستزال في المقابل الحرارة طبقا لمتطلبات حرارة التبخر. هذا الموقف يجب العمل على تجنبه حيث سيزيد من تجمد المحلول الملحي في اتجاه معاكس للتدفق . في حالة حدوث ذلك ستكون هناك كميات كبيرة من البللورات الحبيبية في منطقة دخول المياه المغذية لجهاز التجميد ، وهذا عكس الموقف المطلوب . المطلوب هو الزيادة المضطردة في معدل التبريد للمحلول الملحي مع تدفق يبطئ نحو جهاز فصل الثلج . مع نمو البللورات وزيادة كمية الثلج ، فان المحلول الملحي المتبقى سيزداد باضطراد محتواه من الملح المذاب ، الخلية القريبة من جهاز الفصل ستصبح الأكثر تركيزا وبالتالي تكون لها أدني درجة تجمد بالتالي . وبهدف تجنب حالات التبريد الزائد للمبرد (البيوتين) عند لقائه الأول مع المحلول الملحي الذي يدخل إلى المجمد (Freezer) ، فان درجة غليان المجمد (البيوتين) ترتفع باضطراد عند تدفقاته في الاتجاه المعاكس . يحدث هذا بالإضافة القليلة بجزء من النفط (Naphtes – النافتا) إلى البيوتين . مع تدفق البيوتين من خلية إلى أخرى (فوق تقسيمات الخلية

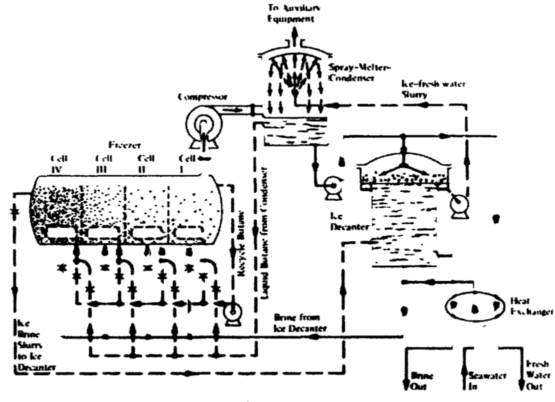
المثقبة) يزداد إضافتها بالنافتا اكثر واكثر حتى آخر خلية ولكنها الأولى التي يدخل إليها المحلول الملحي . هذا الارتفاع المضطرد في درجة الغليان لمادة التبريد يساعد في المقابل على خفض درجة حرارتها في التبريد في أثناء عملية التبخير وما يصاحبها من التبريد خلال امتصاص حرارة التبخير تنخفض باضطراد .

مفتاح العملية هو التحكم في درجة غليان البيوتين خلال الخلط بنسبة معلومة مع النافتا ذات درجة الغليان الأعلى . هذا يمكن حدوث التجمد الكافي في الخلية الأولى حيث تدخل المياه المالحة إلى مجمد لإنتاج أدنى مساحة سطحية من البللورات في شكل بللورات حبيبية صغيرة . مع تحرك هذه ببطيء خلال القواطع المثقبة إلى الخلية الثابتة حتى جهاز فصل الثلج فإنها تقابل طبقة من المبرد الأكثر برودة ، حيث البيوتين ذو درجة حرارة الغليان المنخفضة المحتوى على نسبة نافتا قليلة . المحلول الملحي الآن أكثر تركيزا نظرا لفقده للمياه خلال تكون الثلج ، وبالتالي له درجة تجمد منخفضة ، حيث المبرد ذو درجة الحرارة المنخفضة يساعد نمو بللورات الثلج . هذه العملية يتم تكرارها بالتتالي في الخليتين التاليتين ، مع الخفض المضطرد للنافتا وخفض درجة غليان المبرد ، مع زيادة حجم وكمية الثلج وتركيز المياه المالحة . النتيجة المطلوبة بالخفض المضطرد لدرجات الحرارة للخلايا التالية ، هو زيادة وزن وحجم قطع الثلج في وحدة الحجم لجهاز التجميد .

الجدوى الاقتصادية لهذه العملية تتطلب أقصى استعادة للبيوتين والنافتا . تدوير محلول البيوتين – النافتا وبالتحديد تلك الخلايا الأقرب إلى جهاز فصل الثلج (Ice Decanter) وتلك المحتوية على أقصى تركيز للمياه المالحة (Brine) ولذلك تحتاج إلى ابرد مبرد (Coldest Refregerant) . في كل خلية يدخل المبرد خلال رشاشات (Spargecs) عند القاع . هذا يساعد على خلط المحتوى خلال أداء الفقاعات ، وبهذا يتوفر التقليب اللازم للتأثيرات الجيدة للانتقال الحراري .

بعد إزالة البيوتين بالضخ ، يضخ الثلج الناتج في شكل مخلوط من الثلج والماء المالح إلى جهاز فصل الثلج حيث يتم فصل الثلج من المحلول الملحي . (يتم تدوير المحلول الملحي أو التخلص منه طبقا للحاجة) . يتم بعد ذلك غسيل الثلج من المياه

المالحة العالقة (يتم تدوير الغسيل) ودفعه في شكل مستحلب ثلجي من المياه النقية إلى المذيب (Melter) لتحويله إلى مياه نقية منتجة .



شكل (٥/١٢) إزالة الأملاح بالتبريد

عملية التجميد بالضغط : Pressure Freezing Process

قام اثنان من الصينيين في تايوان بتصميم عملية جديدة للنحلية . وهذه تتوقف على الخاصية الفريدة للماء بالتمدد والتجمد . طبقا لقاعدة لوشاتلييرِ ، يذوب الثلج عند تعرضه للضغط . بمعنى آخر عند ضغط واحد جوى تنخفض درجة التجمد للثلج ٠,٠١ °م . معظم المواد لها درجة تجمد (أو إذابة) عند الضغوط العالية . الفرق بين سلوك الثلج والهيدروكربونات المجمدة تحت الضغط تعاون كأساس في تطوير التحلية بالتجميد .

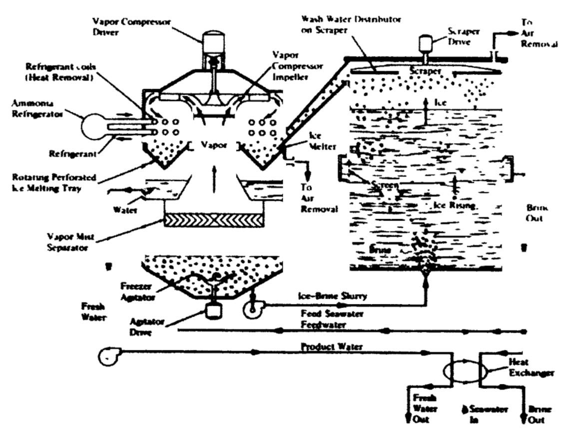
عند تجميد هيدروكربون يغلي في درجة حرارة مرتفعة وخلطه مع مياه البحر البادرة. ينتج خليط من الثلج ، الهيدروكربونات المجمدة ، مياه مالحة ، وهيدروكربون سائل. يتم فصل الثلج من الخليط (Decanting) بعد إذابة الهيدروكربون المجمد ، ثم غسيله من الملوحة الممتصة . كل ما سبق يتم في الضغط الجوى . بدلا من الإذابة

المباشر للثلج يتم خلطه بسائل الهيدروكربون وتعرضه لضغط ٢٠٠٠ رطل/البوصة المربعة . نتيجة لذلك يتجمد الهيدروكربون منتجا حرارة التبلر وبذلك ترتفع درجة الحرارة ما بين ٢-٣ °م . يتم فصل المياه المنتجة من إذابة الثلج (Decanted) ، والمخلوط من الهيدروكربون الصلب - السائل يستخدم لتجميد ثلج أكثر من كمية أخرى من مياه البحر المبردة .

توجد فوائد كثيرة من هذه العملية . أولها باستخدام هيدروكربون ذو درجة غليان مرتفعة (٢٥٠) °م يقلل من المخاطر المصاحبة باستخدام مواد مثل البيوتين الذي له نقطة اشتعال منخفضة (Flash Point) . ثانيا لا يتطلب جهاز لضغط الغاز لإسالة الهيدروكربون ولا لتجهيزه تفريغ لإزالته بالتبخير . ولذلك يبدو أن الطاقة المستخدمة في هذا النظام تكون منخفضة . هذا بالإضافة إلى تكون بللورات من الثلج كبيرة في هذه العملية بما يخفض من تكاليف الغسيل . نظرا لأن معدل تكون بللورات الثلج عالي ولا توجد خطوة للتبخير فان المعدات تحتاج إلى حجم صغير نسبيا . ولكن لها سلبياتها. عملية المضايقة في فصل الثلج وتكلفتها وغسيل الثلج تكون مضاعفة في هذه الطريقة . وكقاعدة فان جدوى التحلية تتوقف على عوامل اقتصادية وليست على عوامل فنية فقط . ولذلك لتقدير جدوى التحلية بهذه الطريقة يلزم التقييم على أساس التجارب النصف صناعية .

التبريد ببخار الماء : Refregiration by Water Vapour

بدلا من استخدام مواد التبريد بالالتصاق المباشر ، استخدم بخار الماء نفسه لإحداث اثر التجمد في مياه البحر . يتم هذا بواسطة عملية (Zarchin – Colt Process) للتجميد شكل (٥/١٣) .



<u>شكل (٥/١٣) عملية التجميد بطريقة</u>

تضخ مياه البحر البادرة إلى المجمد ، حيث يتم خفض درجة حرارتها تحت نقطة التجمد للمياه النقية وتقريبا إلى درجة تجمد المياه المالحة . عند هذه النقطة ، يستخدم تأثير التبخير بواسطة ضاغط لضخ بخار الماء من المجمد . أداء الامتصاص هذا يسبب تكون بخار إضافى لتوفير الاتزان بين الماء والبخار ، وبذلك فان درجة حرارة التبخير المأخوذة من مياه البحر تسبب تجميدها . الواسطة في هذه العملية هو الضاغط الغير مكلف . هذا ويعمل بمحرك ذو طاقة عالية ومناسب للضغوط ونسبة الانضغاط المطلوبة . الضغوط منخفضة قليلا ، ينتج ضغط جوى يساوي ٠,٠٥ فقط عند نقطة تجمد مياه البحر . تسمى هذه العملية (Lyphilization) .

في عملية التحلية تنتج حبيبات البللورات التي تنمو حتى ٠,٥ مليمتر في مدة من ٢٠ إلى ٦٠ دقيقة . وتفصل بواسطة جهاز فصل الثلج (Ice Decanter) ثم يتم غسيلها وإذابتها الخ .. في مرحلة الإذابة بخار الماء الذي يسحب خلال مانع للضباب (Demister) للتخلص من المحلول الملحي العالق ، يقابل بلورات الثلج . التبادل

الحراري الناتج يساعد ليس فقط في إذابة الثلج ، ولكن كذلك في تكثيف البخار . وبذلك تزداد كمية المياه المنتجة . يتم ترشيد استخدام الطاقة في مراحل الأداء الهندسي ما بين مياه البحر والمياه النقية الباردة المنتجة . وهذا يساعد على خفض حرارة المياه المالحة قبل تبريدها وتبخيرها .

إمكانيات طرق التجميد :

بالنسبة للمياه ذات ملوحة ٣٠٠٠ جزء في المليون تعتبر عملية التجميد هي المفضلة لإزالة ملوحة المياه . عملية التجميد تحتاج إلى ضواغط وبعض المعدات والأجهزة لتنفيذ العملية . بينما التحلية بالتبخير والتقطير حيث المعدات المستخدمة مؤثرة منذ فترة طويلة ومألوفة ، ولذلك فان التحلية بالتجميد تحتاج إلى تطوير ودراسة.

٩ - التحلية باستخدام الطاقة الشمسية للتبخير :

Desalination By Solar Evaporation :

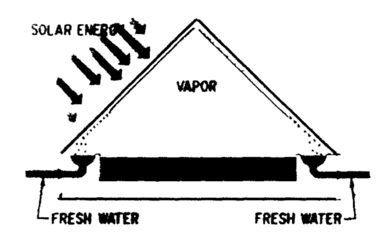
تعتبر الطاقة هي الأكثر عناصر التكلفة في عمليات التحلية . ولذلك فان استخدام الطاقة الشمسية يعتبرها هاما واقتصاديا . الطاقة الشمسية التي تصطدم بسطح الأرض في الأماكن حيث الأشعة الشمس تصطدم مباشرة في معظمها (بزاوية طبيعية نحو سطح الأرض) يمكن أن تكون ١٠٠٠٠ وحدة حرارية في اليوم على القدم المربع (10000 BTU/day/ft2) . من الناحية العملية هذه القيمة تنخفض ، حيث بعض أشعة الشمس تفقد بواسطة الجو والسحب .. الخ . ولذلك ففي المتوسط تكون قيمة الطاقة الشمسية التي تصطدم بسطح الأرض ثم حسابها لتكون من ١٠٠ إلى ٢٥٠٠ وحدة حرارية في اليوم/القدم المربع . ولذا وجد أن استخدام الطاقة الشمسية مشجع وخاصة في الأماكن حيث كثافة ضوء الشمس العالية .

بالإضافة إلى مميزات استخدام الطاقة الشمسية فان التحلية لانتاج البخار بالطاقة الشمسية يتطلب فقط معدات بسيطة .

نموذج لجهاز التحلية المنزلي في الشكل (١٤/٥) إنتاجيته رطل من المياه العزبة النقية في اليوم/القدم المربع من سطح الحوض .

تمتص الطاقة الشمسية على القاع الأسود للحوض الضحل الذي يحتوي على مياه البحر . ترتفع أبخرة المياه لتتكثف على السطح الزجاجي أو من البلاستك الذي يميل بما يسبب تدفق المياه المتجمعة إلى حوض التجميع . نظرا لأن سطح التكثيف يعلو أحواض التبخير فانه يجب ان يكون شفاف ليسمح بمرور أشعة الشمس إلى القاع المغطى بطبقة سوداء ، ولكن بعض أشعة الشمس تفقد بواسطة سطح التكثيف .

SOLAR ENERGY



SALT WATER
FRESH WATER

شكل (٥/١٤) التحلية بالطاقة الشمسية

كما أن ارتفاع درجة الحرارة يثبط بواسطة التبريد الجوي . يزداد الفقد للطاقة الساقطة بالأتربة والأجسام التي تعلق على الجزء العلوي لسطح التكثيف . بما يستوجب النظافة باستخدام العمالة .

تم عمل عدة تصميمات هندسية لزيادة كفاءة الحصول على الطاقة الشمسية وخاصة بخفض الفقد نتيجة الانعكاس . ولذلك استخدمت أسطح دائرية وكذلك أسطح دوارة ، كما تمت محاولة للتسخين المسبق للمياه المالحة واستخدام جهاز التحلية متعدد التأثير (Multiple Effect) .

في المناطق ذات المناخ الحار مثل شمال أفريقيا والهند أمكن تحقيق ٠,٤ إلى ٠,٨ جالون في اليوم/القدم المربع خلال العام . وهذا يعني أن الطاقة الحرارية التي تصل إلى الجهاز تكون في حدود ٥٠% من الطاقة الشمسية التي تصل إلى الجهاز . ولذا فان الاعتبارات العملية قيدت الوصول إلى قيم أعلا .

في اليونان أنشئ على مساحة ١٣٠٠٠٠ قدم مربع مساحة للتبخير قدرها ٩٣٠٠٠ قدم مربع . هذه المساحة تتكون من خلجان مزدوجة ذات مساحة ١٠ قدم × ١٣١ قدم . أحواض التقطير من الألومنيوم المبطن بالمطاط الأسود (Black Buty Rubber) . سطح المكثف من زجاج النوافذ بسمك أقل قليلا من ١/٨ بوصة ويميل ٥١٢ نحو الجنوب . الأحواض ملئت بالمياه المالحة . المياه المركزة تزال من آن إلى آخر طبقا لمعدل التبخير وهو أسبوعيا في الشتاء وكل يومين في الصيف . كانت الحصيلة ٢٧ جالون في الساعة/القدم المربع من المياه المقطرة ، وهذا يعادل ٧٠٠٠ جالون في اليوم .

بغرض الإنتاج اليومي بمعدل ١٠٠٠ جالون يلزم من ٥٠٠٠ إلى ١٥٠٠٠ قدم مربع من سطح التبخير والتكثيف . وهذا يعني كبر حجم الجهاز بالإضافة إلى باقي المهمات والمعدات اللازمة .

بالاختصار يبدو أن التحلية للمياه المالحة باستخدام الطاقة الشمسية تكون مناسبة لانتاج عدة جالونات في اليوم وليس لعدة آلاف من الجالونات . بهذا يمكن خفض تكلفة المعدات واستغلال للطاقة الشمسية . وتبدو مناسبة هذه الطريقة في المناطق الغير صناعية حيث تكاليف الطاقة مرتفعة كما أنها مناسبة لتلبية حاجات أسرة صغيرة .

الفصل السادس

٦

معالجة مياه حمامات السباحة

١ - مقدمة لمعالجة مياه حمامات السباحة :

المياه في حمامات السابحة تستخدم عادة لفترة زمنية مرات كثيرة ، ذلك باستثناء حمامات السباحة التي تملأ وتفرغ باستمرار أو حمامات السباحة الصغيرة جدا. استمرار المعالجة لمياه حمام السباحة بالترشيح الميكانيكي والإضافات الكيماوية يمكن من استخدام نفس المياه (عدا في حالة ارتفاع الأملاح الكلية المذابة) لعدة سنوات. إعادة استخدام مياه الحمام يجعل من الضروري إزالة المواد الصلبة مثل المخلفات النباتية والورقية والأتربة التي تحملها الرياح .. الخ والتي تدخل المياه . الأجسام الصلبة يمكن إزالتها بسهولة بتدوير المياه خلال مرشح .

توجد تصميمات كثيرة للمرشحات باستخدام الرمال ، فحم الانثراثيت أو التربة الدياتومية (Diatomaccous Earth) كوسط ترشيحي . هذا بالإضافة إلى إمكان استخدام مرشح الخرطوشة (Cartidge Filter) . وهذا الوسط الترشيحي يشبه كذلك الحاجز من الخيوط الغير منسوجة أو الورق المعالج الذي يمكن التخلص منه . يستخدم التنظيف بالتفريغ حيث يتم توفير قوة السحب (الشفط) من طلمبة المرشح لإزالة المواد الصلبة من قاع حمام السباحة . كما يستخدم ذراع سحب طويل يشبه المستخدم في مكنسة الشفط المنزلية حيث يتم تمريره إلى الأمام والخلف على قاع الحمام . وتزال الأوساخ بالمرشح .

يجب إضافة كيماويات الحماية الصحية بانتظام إلى مياه حمام السباحة حيث توجد البكتريا في الماء بواسطة السباحين ومن خلال الملوثات الأخرى . كما تحمل إلى المياه بواسطة الرياح والأمطار الجراثيم الطحلبية . بعض الكيماويات تعمل على إزالة البكتريا والطحالب والبعض الآخر يزيل الطحالب فقط .

من الناحية الصحية يجب خلو المياه من البكتريا كما يجب قتل الطحالب لتجنب وجود غيوم خضراء في الماء والتي تنمو على الحوائط وقاع الحمام . نمو الطحالب في مياه الحمام يعمل كذلك على سرعة انسداد المرشح .

كذلك من الناحية الصحية يجب ضبط الرقم الهيدروجيني (*PH – Valve*) لمياه الحمام وذلك *لراحة السباحين ولمنع تآكل أجهزة الحمام* . لذلك تستخدم كيماويات ضبط

الرقم الهيدروجيني في مياه حمام السباحة . بعض المياه تحتوى على أيونات معدنية والتي تغير لون المياه لذلك قد تضاف الكيماويات لترويب هذه العناصر او لتغليفها (Chelating) ذلك لتظل أيونات المعدن في المحلول في حالة غير نشطة .

٢ - مواد التطهير الصحية : (Santizers)

لقد استخدم الكلور وسيستمر استخدامه كمادة كيماوية مقبولة لتطهير مياه حمامات السباحة . يستخدم الكلور أما في شكل غاز الكلور أو هيبوكلوريت الصوديوم في شكل محلول ، أو هيبوكلوريت الكالسيوم في شكل حبيبات . وكل هذه المواد توفر الكلور في الماء في شكل حامض الهيبوكلورس (HOCL) ، والذي هو المادة الكيماوية التي تقتل البكتريا والطحالب في مياه الحمام . بعض المركبات الهالوجينية الأخرى مثل البروم واليود لها استخدام محدود في حمامات السباحة . حيث سيتم مناقشة مواد التطهير هذه .

غاز الكلور :

يستخدم غاز الكلور المعبأ في اسطوانات كعامل تطهير في منشآت حمامات السباحة الكبيرة وفي الحمامات العامة بأحجام مختلفة ما بين ١٠٠-١٥٠ رطل . يذوب غاز الكلور في الماء حيث يحدث التفاعل الآتي :

$$Cl_2 + H_2O \rightleftharpoons HOCl + H^+ + Cl^-$$

حامض الهيبوكلورس (HOCL) يتاين إلى

$$HOCL \rightleftharpoons H^+ + OCl^-$$

مادة (OCl^-) هي عامل التطهير لقتل البكتريا والطحالب والفطريات . في حالة حمامات السباحة الكبيرة يستخدم غاز الكلور الرخيص التكلفة ولكن بالنسبة للحمامات أقل من ١٠٠٠٠٠ جالون يكون من السهل استخدام محلول هيبوكلوريت الصوديوم .

يحتاج غاز الكلور إلى أجهزة تكميلية للحقن والتغذية ولقياس معدل تدفق الغاز كما يتطلب إشراف فني دقيق واحتياطات لتأمين استخدامه . ونظرا لاحتمالات المخاطر فان غاز الكلور لا يستخدم كمطهر في الحمامات الصغيرة وحمامات السباحة شبه الخاصة أو حمامات السباحة المنزلية الخاصة .

بالإضافة إلى الكلور من المهم إضافة الصودا آش (كربونات الصوديوم) بانتظام للمحافظة على الرقم الهيدروجيني المتعادل للماء .

محلول هيبوكلويت الصوديوم :

محلول هيبوكلوريت الصوديوم يكون عادة بتركيز من ١٠-١٥% كلور بالوزن ، وهو منتشر الاستعمال كعامل تطهير لحمامات السباحة. يتفاعل هيبوكلوريت الصوديوم في ماء حمام السباحة كالآتي :

$$NaOCl \xrightleftharpoons{H_2O} Na^+ + O^-Cl$$

وهو يستخدم على نطاق واسع في حمامات السباحة الصغيرة العامة والخاصة. هيبوكلويت الصوديوم سهل التداول والاستخدام وقد يستخدم جهاز Hypochlorinator . وهو يفضل عن الكلور وخاصة في حالة حمامات السباحة السكنية . وعموما فانه يستخدم في حمامات السباحة اقل من ١٠٠٠٠٠ جالون .

عيوب هيبوكلوريت الصوديوم هي عدم الثبات عند التخزين . حيث انه غير ثابت عند درجات الحرارة المرتفعة بما ينتج عنه سرعة الفقد في تركيزاته من الكلور. والعيب الآخر هو قلوية هيبوكلوريت الصوديوم والتي تحتم إضافات من حامض لضبط الرقم الهيدروجيني .

هيبوكلوريت الكالسيوم : هو أحد أهم كيماويات التطهير التي تستخدم كثيرا في معالجة مياه حمامات السباحة ، وهو يحتوى على ٧٠% كلور متاح ، وهو منتج ثابت وسهل التداول . وهو مصدر غير مكلف من الكلور الجاف ويستخدم على نطاق واسع في حمامات السباحة الصغيرة والخاصة المنزلية .

بسبب رخص تكلفته النسبية فانه يستخدم على نطاق واسع في عملية الكلورة الزائدة (Super Chlorination) وكذلك كعامل تطهير لمنطقة حمام السباحة . حتى في حالة استخدام غاز الكلور أو هيبوكلوريت الصوديوم المحلول كعامل تطهير رئيسي فانه يضاف هيبوكلوريت الكالسيوم لتوفير الكلور الضروري لتحقيق أقصى متطلبات تطهير من كلور لحمام السباحة .

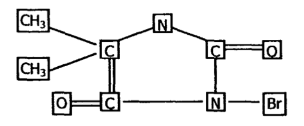
هيبوكلوريت الكالسيوم لا يغير الرقم الهيدروجيني لمياه الحمام بدرجة كبيرة

كما هو الحال بالنسبة لمحلول هيبوكلوريت الصوديوم أو غاز الكلور ، إلا انه يضيف أيونات الكالسيوم لمياه الحمام والذي يكون غير مرغوب في حالة المياه عالية العسر .

البروم : (Bromine)

يستخدم البروم ومركبات البروم في تطهير مياه حمامات السباحة . رغم أن البروم له قوة أكسدة اقل من الكلور إلا انه مؤثر قوي في قتل البكتريا ، ولكنه غير مطلوب ذلك بسبب ارتفاع سعره مقارنة بالكلور هذا بالإضافة إلى صعوبة التداول للبروم السائل . وقد ساعد على التغلب على مشكلة التداول إنتاج البروم الصلب أو عيدان البروم (Stick Bromine) وهو منتج من المركب :

(I – Chloro – 3bromo – 5.5 dimethyl hydanation)



يتم التغذية باستخدام عيدان البروم بوضعها في خط ممر جانبي لدائرة الطلمبة حيث تذوب ببطيء في الماء . تضاف مواد الدرئ (Buffers) إلى العيدان والتي تساعد في ضبط الرقم الهيدروجينى . حاليا تم تحديث نظم التغذية بالبروم السائل .

أحد مميزات استخدام البروم هو أن أمينات البروم (Bromamines) مقارنة بأمينات الكلور (Chloramines) لا تسبب حساسية للعين . يوصي بمتبقى ١-٢ جزء في المليون للبروم كما أن حمام السباحة يمكن أن يكون في مجال رقم هيدروجيني اكبر قليلا من ٧-٨ عن حالة استخدام الكلور .

اليود : Iodine

رغم أن اليود مؤثر في قتل البكتريا إلا انه غير مستخدم على نطاق واسع في تطهير حمامات السباحة ، كما انه ليس مؤكسد قوى مثل الكلور حيث لا يؤكسد تماما المواد العضوية . لذلك فإذا الكلور يستخدم لهذا الغرض . اليود لا يتحد مع الأمونيا أو مع النيتروجين العضوي ليكون مركبات اليود مع هذه المواد (Iodamines) ولذلك فانه

لا يسبب حساسية للعين . حمامات السباحة التي تعالج باليود قد يكون للمياه لون أصفر خفيف وفي حالة ضعف إحكام الجرعة المطلوبة يكون لون المياه اخضر أو بحري وفي حالة عدم إحكام الجرعة فان حمام السباحة يمكن أن يتحول إلى اللون البني والذي يعني أن المياه يجب تغييرها .

يضاف اليود إلى حمامات السباحة بأحد طريقتين . أول هذه الطرق هو تحضير محلول مشبع بتمرير الماء على طبقة من اليود الصلب ، ثم يضاف إلى حمام السباحة. الطريقة الثانية والأكثر استخداما وخاصة بالنسبة لحمامات السباحة الصغيرة هو بإضافة (HOI) وكلاهما مؤثر في قتل البكتريا . هذا بالإضافة إلى استخدام الهيبوكلوريت كعامل مؤكسد وقد يستخدم الكلور . ولكن يجب الحرص لتجنب أكسدة اليود إلى الأيوديت ($IO_3^{/}$ - Iodate) والذي ليس له تأثير على إبادة البكتريا ولا يمكن عودته ثانيا إلى $I^{/}$ أو I أو $OI^{/}$.

رغم أن اليود مرتفع الثمن إلا انه يمكن أن يتحول إلى الأيوديد (Iodide) والذي يمكن استخدامه ثانيا ، عندئذ يتم تكرار الدورة عدة مرات وبما يحقق وفر اقتصادي . لقد أظهرت الدراسات انه يمكن فقد كمية من اليود بالبخر .

الفقد في الهالوجينات بفعل أشعة الشمس :

كل من الهيبوكلوريت والهيبوبروميت يحدث لهم تلف بأشعة الشمس (الإشعاعات فوق البنفسجية) بنفس المعدل . ولكن الهيبوأيوديت (Hypoiodite) يكون تلفه بطئ . عند تحول الهيبوهالتيز (أي الهيبوكلوريت أو الهيبوبرميت ، أو الهيبوأيوديت) إلى الكلورات أو البرومات أو الايودات أو الكلوريد أو البروميد أو الايوديد (Halates , Halides) فإنها تفقد قدرتها على الأكسدة وعلى القتل للكائنات البكتيرية وذلك طبقا للجدول الآتي :

جدول (٦/١) الفقد في الهالوجين في النظم المفتوحة بفعل الأشعة فوق البنفسجية ، في الساعة :

المواد النشطة	نصف العمر	الزمن للفقد ١٠٠%
HCLO , CLO/	٠,٦	٢,٥
HBrO , BrO/	٠,٦	٣,٠٠٠
HIO , I_2	٢,٠٠٠	٥,٠٠٠

مواد أخرى مطهرة لمياه حمامات السباحة :

يوجد مواد مطهرة أخرى والتي يمكن استخدمها لتنقية مياه حمامات السباحة ولكنها غير شائعة الاستعمال وهي :

- **أجهزة الأشعة فوق البنفسجية :** ويمكنها تطهير المياه ولكنها مكلفة . ولا توفر متبقى مثل الهالوجينات لاستمرار التطهير والحماية .
- ثاني أكسيد الكلور يستخدم في أماكن من العالم مثل دول أوربا وهو مؤثر في قتل البكتريا ويتفوق على الكلور في قتل الفيروسات كما انه يحرق المواد العضوية ولكن يصعب استخدامه والتحكم فيه مثل الكلور . كلورات الصوديوم المستخدم في توليد ثاني أكسيد الكلور مادة خطرة وخاصة في حمامات السباحة الصغيرة .
- **الفضة وبعض مركبات الفضة :** يمكن استخدام الفضة وبعض مركبات الفضة في معالجة المياه وهذه المواد قاتلة للكائنات الدقيقة ولكنها مكلفة نسبيا ويصعب استخدمها . كما أنها حساسة للكيماويات والملوثات في الماء .
- **الأوزون :** الأوزون قاتل جيد للبكتريا ولكن عيوبه عدم وجود متبقى مثل ما يحدث بالنسبة للكلور ولذلك يكون استخدامه غير عملي .

الكلورة الزائدة : Super Chlorination

بالإضافة للمتطلبات العادية من مختلف عوامل التطهير لحمامات السباحة ، فانه يكون من الضروري أحيانا إضافة كميات إضافية لزيادة جرعة الكلور في حمام السباحة . هذه الصدمة للتطهير تعمل على حرق أي مواد عضوية متراكمة في الحمام والتي تعمل على تعتيم المياه وكذلك تعمل كغذاء للطحالب والبكتريا ومساعدتها على

النمو . حيث يوصي بزيادة جرعة الكلور في حمام السباحة كل أسبوعين عندما يكون متوسط درجة الحرارة آخر النهار أقل من ٢٥° م ومرة كل أسبوع عندما تكون درجة الحرارة آخر النهار (بعد الظهر) أكبر من ٢٥° م هذه المعالجة عبارة عن إضافة ١٠ جزء في المليون من الكلور . الكلورة الزائدة أساسية للحمامات المحتوية على الكلور المتحد (أي الكلور الذي يتحد مع الأمونيا الناتجة عن حالات التبول في حمام السباحة) وهذه لا يتم التخلص منها إلا بالكلورة الزائدة . المستخدم عادة في الكلورة الزائدة هو هيبوكلوريت الكالسيوم . وذلك لمناسبته للاستخدام واقتصاديات استخدامه .

٣ - إبادة الطحالب : (Algicides)

تستخدم مبيدات الطحالب في حمامات السباحة في حالات خاصة وليست بانتظام أو كعملية معالجة روتينية . كثير من الحالات تستخدم عند صيانة الحمامات في غير موسم الاستخدام . حيث في حالة حمامات السباحة التى لا يتم صيانتها جيدا يمكن للطحالب أن تنمو وتحدث مشكلة والتي تسبب تكون اجناب وقاع وسلالم الحمام لزجة مع وجود روائح كريهة وزيادة جرعات الكلور (Chlorine Demand) وتكون المياه عكرة . تنمو البكتريا وتتكاثر وتتكون بقع بسبب نمو الطحالب يصعب إزالتها . في حالة المحافظة على مستوى الحقن لمادة التطهير وضبط الرقم الهيدروجيني فان نمو الطحالب ينعدم ولا توجد حاجة للاستخدام مبيدات الطحالب . في بعض الحالات وخاصة عند ارتفاع درجات الحرارة اكثر من ٢٥° م تكون إضافة مبيدات الطحالب مطلوبة . يجب الحرص في اختيار مادة إبادة الطحالب لتجنب تلك التي تتفاعل مع كيماويات حمام السباحة أو التي تحتاج إلى جرعات عالية من الكلور .

أنواع مواد إبادة الطحالب :

- مواد الكلور ، البروم ، اليود والتي تستخدم في التطهير هي مواد ممتازة في إبادة الطحالب وهي تستخدم لقتل البكتريا بالإضافة إلى قدرتها على الحد من مشاكل نمو الطحالب .
- كبريتات النحاس استخدمت كبريتات النحاس كمادة لإبادة الطحالب لسنوات كثيرة ولكنها ليست مؤثرة بالدرجة المطلوبة في حمامات السباحة . كما توجد مركبات

أخرى لإبادة الطحالب مثل مركبات الأمونيوم الرباعية (Quaternary Ammonuim Compounds) . والمواد الأخرى التي يمكن إبادة الطحالب ولكن لها درجة سمية هي مركبات الزئبق وهي سامة ومركبات المعادن الثقيلة مثل الفضة والزنك والرصاص وهذه المواد لا تستخدم عادة في حمامات السباحة لسميتها .

عندما تفشل كل محاولات المعالجة لإبادة الطحالب ومع زيادة عمر الطحالب (الطحالب الجديدة والحديثة يمكن إبادتها بسرعة) تستخدم طريقة أخرى لإزالتها . يمكن صرف مياه حمام السباحة ثم الغسيل والحك باستخدام محلول الهيبوكلوريت بتركيز ٥% أو باستخدام محلول كبريتات النحاس المركز وهذا يتطلب جهد شاق ولذلك فان افضل طريقة هو المحافظة على حرمان الطحالب من وجود موطئ قدم في الحمام .

٤- ضبط الرقم الهيدروجيني : PH Control

يعتبر ضبط الرقم الهيدروجيني في حمام السباحة هام جدا لعدة أسباب . المجال الآمن للرقم الهيدروجيني هو ما بين ٧,٢ – ٧,٦ . في هذا المجال يوجد نصف الكلور المتاح في شكل (HOCL) والنصف الآخر يوجد في شكل أيونات (OCl/) . عند رقم هيدروجيني ٧ الكلور المتاح يكون بنسبة ٧٥% في شكل (HOCl) والذي هو شكل مطلوب من وجهة نظر قتل الكائنات الدقيقة البكتيرية ، ولكن عند هذا الرقم الهيدروجيني المنخفض تبدأ ملاحظة تهيج للعين والأغشية المخاطية . كذلك عند رقم هيدروجيني منخفض فان الأجزاء المعدنية من حمام السباحة مثل الطلمبة والمرشح والسلالم تتآكل بسرعة .

عند ارتفاع الرقم الهيدروجيني يكون الكلور المتاح أساسا في شكل أيونات (OCl/) والذي ليس له تأثير فاعل لقتل البكتريا من الناحية العملية . ونظرا لأن أيونات (OCl/) يحدث لها تلف بفعل الأشعة فوق البنفسجية فانه ليس مرغوبا فيه وجود كلور متاح كثير في هذا الشكل . عند رقم هيدروجيني ٨ يكون فقط ٢٣% من الكلور المتاح في شكل (HOCl) وهو العامل القاتل للبكتريا . ارتفاع الرقم الهيدروجيني يساعد على تكون الترسيبات والقشور (Scale) حيث تتسبب في ترسيب العسر في المياه . تكون

الترسيبات له تأثير ضار على سخانات حمام السباحة بما يسبب خفض في الكفاءة أو تلف السخانات .

يتم ضبط الرقم الهيدروجيني باستخدام الكيماويات . فعند خفض الرقم الهيدروجيني يستخدم حامض الهيدروكلوريك كما يفضل استخدام مادة باي سلفيت (NaHSO4) . تستخدم كربونات الصوديوم (Na2 Co3) لرفع الرقم الهيدروجيني لمياه حمام السباحة .

٥ - العسر والقلوية (Hardness And Alkalinity)

العسر في المياه هو قياس للمواد المذابة أساسا من الكالسيوم والمغنسيوم . في كثير من المناطق تحتوى المياه الطبيعية على تركيزات عالية من الأملاح المذابة والتي تزداد بسبب البخر وإضافة الكيماويات . زيادة العسر في الماء له تأثير على كفاءة حمام السباحة حيث يسبب الترسيبات ويقلل من كفاءة التسخين لحمام السباحة ويقلل من كفاءة المرشح .

القلوية هي قياس قدرة الدرئ للماء (Buffering Capacity) أو درجة المقاومة لتغير الرقم الهيدروجيني للماء . في بعض المناطق من العالم تكون القلوية والرقم الهيدروجيني للماء . في بعض المناطق من العالم تكون القلوية والرقم الهيدروجيني مرتفع . ولجعل هذه المياه مناسبة للاستخدام في حمامات السباحة فانه يجب التخلص من بعض القلويات بما يعمل على خفض الرقم الهيدروجيني إلى المستوى المناسب . يتم هذا عادة بإضافة حامض والذي هو عادة حامض الهيدروكلوريك (HCl) . أما في حالة انخفاض القلوية يكون من الصعب ضبط الرقم الهيدروجيني ذلك لان الماء له قوة درئ ضعيفة جدا والرقم الهيدروجيني سيتغير بسرعة . لزيادة الرقم الهيدروجيني يعتبر استخدام بيكربونات الصوديوم هو العامل المناسب جدا . القلوية الكلية المثالية تكون ما بين ٨٠ إلى ١٢٠ جزء في المليون ، ولكن كثير من حمامات السباحة تعمل خارج هذه الحدود .

٦ - تجهيزات التغذية : (Feeders)

تجهيزات التغذية الهامة هي التي على انتشار كميات صغيرة من الكيماويات في مياه الحمام بمعدلات مستمرة ومنتظمة . السبب في توفير تجهيزات التغذية هو لتوفير مستوى حماية مناسب ومستمر وفي كل الأوقات . تجهيزات التغذية لها دور مهم بالنسبة لحمامات السباحة الصغيرة حيث يمكن ان يتركها المالك لعدة أيام .

توجد تجهيزات التي تطفو حول الحمام حيث تضاف الكيماويات ببطىء والتي تكون عادة من المواد الصلبة . بعض هذه التجهيزات تعمل بمبدأ الطفو والغوص حيث تغوص في الماء إلى القاع عند الامتلاء ثم تطفو إلى السطح عند التفريغ .

توجد طلمبات لقياس غاز الكلور أو البروم السائل الذي يغذي مياه الحمام بمعدلات منخفضة . توجد طلمبات التغذية النسبية حيث تضخ الكيماويات المذابة من المحاليل السبق تجهيزها .

نوع آخر لتغذية الكيماويات هو بتوفير مجرى تبادلي (By Pass Stream) من الحمام لاذابة عوامل التطهير الموجودة في قادوس في شكل مادة صلبة . توجد وسائل أخرى لإضافة الكيماويات إلى حمامات السباحة ولكن ما تم ذكره هي الأنواع الرئيسية .

٧ - شنط الاختبار : (Test Kids)

وجود شنطة الاختبار يعتبر أساسى لتوفير التشغيل الجيد لحمام السباحة . وهي تختلف كثيرا في إمكانيتها بالنسبة للاختبارات وبالتالي السعر ولكن جميعها يعين الكلور والرقم الهيدروجيني . حيث يلزم مراجعة الرقم الهيدروجيني والكلور من آن إلى آخر وخاصة في حالات زيادة التحميل بالنسبة لاستخدام حمام السباحة بواسطة السباحين .

بعض شنط الاختبار توفر وسائل تعيين عسر المياه وكذلك القلوية . توجد بعض شنط الاختبار التي تحتوى قياسات ضوئية (photometric) لتعيين حالة لون المياه ومدى شفافيتها (Clarity) . كقاعدة عامة لا يتم قياس النيتروجين والحديد والمنجنيز بواسطة شنطة الاختبار حيث ترسل عينات من الماء إلى معامل التحاليل لقياسها . الكيماويات في شنط الاختبار تتلف بمرور الوقت حيث يلزم تغييرها كل موسم .

٨ - معالجات كيماوية أخرى : (Other Chemical Treatments)

أحيانا يحتوى حمام السباحة على ملوثات أخرى والتي يلزم التخلص منها . أحد العناصر الغريبة التي يحتمل وجودها هو الحديد . وجود الحديد في مياه حمام السباحة يجعل المياه منفرة وغير مقبولة للاستخدام ، توجد عدة طرق للتخلص من الحديد أو الحديد من تأثيراته الغير مقبولة .

الطرق العادية لإزالة الحديد هي بترويب مياه الحمام . ويتم ذلك بضبط الرقم الهيدروجيني إلى ٧,٢ - ٧,٦ ، ثم الكلورة الزائدة ، ثم إضافة الشبه على سطح الماء (بمعدل ٢ أوقية من الشبه لكل ١٠٠٠ جالون من الماء) ، عندئذ تتكون زغبات (Floc's) من أيدروكسيد الحديد والتي ترسب ثم يتم شفطها بالتفريغ (Vacuum) من قاع الحماد . يلي ذلك ضبط الرقم الهيدروجيني إلى ٧,٢ - ٧,٦ .

طريقة بديلة باستخدام محاليل التغليف (Chelating Agents) والتي تبنى على مركب ايثيلين داي أمين (Ethylenediamine) والمركبات المثيلة . وهذه يمكن أن تعمل على تغليف وتكوين مركب معقد على أيونات الحديد وأيونات معدنية أخرى وخاصة النحاس والمنجنيز ، وتجعل هذه الأيونات في شكل مذاب . كما ان المنجنيز يمكن إزالته بالكلورة والترسيب .

النحاس في الماء قد يسبب حدوث ترسيبات سوداء في حالة انخفاض الرقم الهيدروجيني عن ٧ .

٩ - حمامات السباحة الخاصة : (Indoor Pools)

يمكن المحافظة على النظافة وحالة الوقاية الصحية للحمامات الخاصة الداخلية مثل حمامات السباحة الخارجية ، ولكن هناك بعض الاختلافات والتي يجب ملاحظتها. في كثير من الحالات يتم المحافظة على الرقم الهيدروجيني ما بين ٨ إلى ٨,٥ رغم أن الكلور يكون اقل تأثيرا مع زيادة الرقم الهيدروجيني . هذا الارتفاع النسبي في الرقم الهيدروجيني هو أقصى ارتفاع لتجنب حدوث حساسية للعين وظهور رائحة الكلور المنفرة . نتيجة لذلك فان هذه الأحواض تحتاج إلى كلور متبقي عالي (Residual Chlorine) والذي يكون ما بين ١,٥ - ٢ جزء في المليون . زيادة مستوى الكلور تعمل

على تعويض الانخفاض في تأثيراته . أحواض السباحة هذه تحتاج إلى معالجة بالصدمة (Shock) مثل ذلك الذي يتم لحمامات السباحة الخارجية ، وذلك لإزالة المواد العضوية والنيتروجينية . في حالة عدم وجود رياح لطرد الروائح فان الجو يصبح غير مقبول في حالة عدم نظافة الحمامات . الزمن اللازم للصدمة يكون أطول (٢٤ ساعة) بسبب ارتفاع الرقم الهيدروجيني والذي يعمل على خفض تركيز (HOCl) .

الترسيبات (Scales) هي أحد مشاكل حمامات السباحة الداخلية ولكن يمكن منع حدوثها باستخدام البولي فوسفيت (Polyphosohates) . يمكن أن تحدث هذه الترسيبات من عسر المياه الناتج عن حدوث إذابة للمواد المكونة لحوائط الحمام وكذلك من الكيماويات المستخدمة الفوسفات يوفر غذاء للطحالب ولذلك لا ينصح باستخدام أملاح الفوسفات في حمامات السباحة الخارجية (Out Door) ولكن نظرا لأن الطحالب لا تنمو في عدم وجود أشعة الشمس فان أملاح الفوسفات يمكن استخدمها في حمامات السباحة داخل المباني .

الفصل السابع

٧

التحاليل الكيميائية للمياه المستخدمة في الصناعة

١ - مقدمة :

التحاليل الكيميائية هي أحد فروع الكيمياء وهو علم يحتاج إلى سنوات لدراسته ولكننا سنحاول تناول بعض أنواع التحاليل الكيميائية وخاصة تلك المتعلقة بأنواع المياه المستخدمة في الصناعة .

٢ - أنواع التحاليل الكيميائية :

أ - التحاليل الكيميائية باستخدام عمليات المعايرة : حيث تستخدم المعايرة لحامض مع قلوي بمساعدة مواد كيماوية تبين تمام حدوث المعايرة وتسمى كواشف (Indicators) ، كما يدخل أيضا في عملية المعايرة ما يعرف بتفاعلات الأكسدة والاختزال وكذلك عمليات يستخدم فيها محلول اليود أو ينطلق منها اليود وتسمى (Iodometry) وهنا يعتبر الكاشف ذاتيا . وما تم ذكره يعتبر أيضا أمثلة لتفاعلات المعايرة .

ب - التحاليل الكيماوية باستخدام الترسيبات والوزن : وهذه تعتمد أساسا على تكون راسب غير مذاب للمادة المطلوب حساب كمياتها في صورة مركب معروف حيث يتم فصله بالترشيح وتجفيفه أو حرقة لتحويله إلى مركب آخر معروف ويوزن الراسب وبذا يمكن حساب كمية المادة المطلوبة .

جـ - أجهزة تعتمد عبى قياس الرقم الهيدروجيني (PH – Value) .

د - اجهزة قياس التوصيل الكهربي والتي تعطي دلالة عن الأملاح الكلية المذابة (الأيونية) (TDS) .

هـ - اجهزة تعتمد على استخدام الطيف الضوئي : (Spectrophotometer) وتستخدم في معرفة تركيزات كثير من المواد والعناصر ، يعمل مركب معقد منها له لون ثابت ويقاس التركيز بقياس تركيز اللون المستخدم .

و - أجهزة تعتمد على استخدام الامتصاص الذري ومنها نوعان : (Flame photo meter) ، (Atomic Absorbtion) . تعتمد هذه الأجهزة في قياساتها على ترزيز (Atomization) المادة المطلوب معرفة تركيزها والموجودة في صورة مذابة كاملا وحرقها وانطلاق الطاقة التي تترجمها هذه الأجهزة في صورة تركيزات . وهناك

كثير من الأجهزة المتعددة والتي تختلف فقط في الأساس الذي بني عليه نظام تشغيل الجهاز ونظريات استخدامه .

٣ - أنواع التحاليل طبقا لنوعية المياه :

تختلف التحاليل المطلوبة طبقا لنوعية المياه (مياه الشرب ، مياه الصرف الصحي أو الصناعي ، مياه التغذية للغلايات ، مياه التبريد ، المياه المستخدمة في العمليات الصناعية الخاصة وكذلك في الاستخدامات الدوائية) .

أ - بالنسبة لمياه الشرب والاستخدام المنزلي (والصناعات الغذائية) :

(١) التحليل الطبيعية :

وهذه تشمل الكشف عن الرائحة والمذاق والعكارة ، المواد الصلبة العالقة ، درجة الحرارة .

(٢) التحاليل الجرثومية :

وتجرى الكشف عن الكائنات الحية الدقيقة ومعيار قياسها هو العد الكلي لبكتريا الكوليفورم في ١٠٠ سم^{٣} ماء . وهذه البكتريا موجودة بكثرة وغير ضارة وهي ذات مقاومة تزيد عن البكتريا الممرضة (Pathogens) وأقل في مقاومتها عن الفيروسات . كما أن البروتوزوا والطحالب يمكن الكشف عنها بالترشيح .

(٣) تحاليل كيماوية :

التحاليل الكيميائية تشمل الحديد والمنجنيز (في حالة المياه من المصادر الجوفية)، والكلور الزائد أو المتبقي (Residual Chlorine) ، الكلوريدات ، العسر ، القلوية ، الرقم الهيدروجيني (PH – Valne) ، الأملاح الكلية المذابة ، العناصر الثقيلة السامة (مثل الزرنيخ ، الكروم ، الكادميوم ، الزئبق ، الزنك ، الفضة ، الرصاص ، نحاس .. الخ).

ب - بالنسبة لمياه الصرف :

(١) تحاليل طبيعية :

وتشمل المواد الصلبة العالقة ، العكارة .

(٢) تحاليل كيماوية وتشمل :

الأكسجين المذاب ، المواد السامة ، العناصر الثقيلة .

(٣) تحاليل بيولوجية وتشمل :

الأكسجين الحيوي المستهلك (BOD) (Biological Oxygen Demand) الأكسجين الكيماوي المستهلك COD (Chemical Oxygen Demand) .

جـ - المياه المستخدمة في العمليات الصناعية :

وتشمل المياه المغذية لغلايات إنتاج البخار ومياه التبريد والتحاليل المطلوبة لهذه النوعيات من المياه تشمل :

الرقم الهيدروجيني ، درجة الحرارة ، الأملاح الكلية المذابة ، العسر ، القلوية، الكلوريدات ، الهيدرازين ، السيليكا ، الفوسفات ، الأكسجين المذاب .

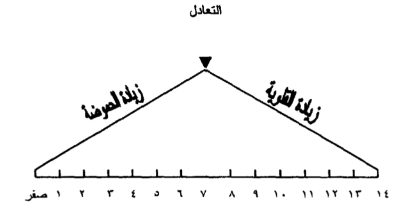
وفي هذا المجال سيتم إلقاء الضوء على التحاليل اللازمة للمياه المستخدمة في العمليات الصناعية وخاصة في عمليات التغذية الغلايات لإنتاج البخار ومياه التبريد وهذه التحليلات التي تعطي مؤشر لخاصيتين أساسيتين وهما تكوين القشور (Scales) أو الرواسب وكذلك مقاومة التآكل واللذان يشكلان عائق في عمليات إنتاج البخار وتبريد المياه .

٤ - التحاليل المستخدمة للمياه في العمليات الصناعية ومياه تغذية الغلايات ومياه التبريد :

أ - الرقم الهيدروجيني : (PH – Value)

الرقم الهيدروجيني تعريفه هو لوغاريتم مقلوب تركيز أيون الهيدروجين $\text{Log}\ \frac{1}{(H^+)}$

الرقم الهيدروجيني ٧ يعني أن المحلول المقاس متعادل . عند زيادة الرقم الهيدروجيني يعنى زيادة المحلول إلى القلوية وان قل يعني زيادة المحلول نحو الحموضة . مقياس الحموضة من أقل من ٧ حتى ١ ، ومقياس القلوية من ٧ حتى ١٤ .



قيم الرقم الهيدروجيني لتركيزات بعض المواد الكيماوية

الحالة	الرقم الهيدروجيني	تركيز المادة الكيماوية
حامضي	صفر	حامض كبريتيك بتركيز ٤,٩% (١,٠ عياري)
حامضي	١	حامض هيدروكلوريك بتركيز ٠,٣٧% (٠,١ عياري)
حامضي		حامض كبريتيك بتركيز ٠,٤٩ (٠,١عياري)
حامضي	٢	عصير الليمون
حامضي	٢,٥	حامض الاسيتيك(الخليك) أو الخل بتركيز ٠,٦%(٠,١عياري)
حامضي	٣	عصير البرتقال
حامضي	٤,٥	البيرة
حامضي	٥	حامض الهيدروسياتيك ٠,٢٧% (٠,١عياري)
حامضي	٦,٥	اللبن
متعادل	٧	الماء النقي
قلوي	٧,٥	زلال البيض
قلوي	٨	بيكربونات الصوديوم ٠,٨٤% (٠,١عياري)
قلوي	٩	لبن البوراكس
قلوي	١٠	كربونات المغنسيوم
قلوي	١٠,٥	أمونيا ١,٧% (٠,١عياري)
قلوي	١٢	صودا كاوية ٠,٠٤% (٠,١عياري)
قلوي	١٢,٥	محلول مشبع من لبن الجير
قلوي	١٣,٥	صودا كاوية ٠,٤% (٠,١عياري)
قلوي	١٤	صودا كاوية ٤% (١,٠عياري)

بالنسبة لتركيز أيون الهيدروجين :

في حالة تركيز أيون الهيدروجين ١٠ ⁻⁴ يكون الرقم الهيدروجيني ٤ (حامضي) وفي حالة تركيز أيون الهيدروجين ١٠ ⁻⁸ يكون الرقم الهيدروجيني ٨ (قلوي) يستخدم في قياس الرقم الهيدروجيني ورق عباد الشمس الذي يعطي درجات من اللون الأزرق تزداد كلما زادت القلوية ، ودرجات من اللون الأحمر تزداد كلما زادت الحموضة . كما أن هناك محاليل كاشفة (Indicators) تختلف ألوانها باختلاف الرقم الهيدروجيني . أما دقة القياس فتتم باستخدام جهاز قياس الرقم الهيدروجيني (PH. Meter) والذي يعتمد على استخدام أقطاب تتأثر بتركيز الهيدروجين في الماء (المحلول) مقارنة بقطب قياسي .

ب - درجات الحرارة :

التقسيم العام لأنواع عناصر قياس درجة الحرارة كالآتي :

(١) - قياس درجة الحرارة باستخدام سائل في زجاجة :

Liquid In Glass thermometers :

في هذا النظام يعتمد قياس درجة الحرارة على أساس استخدام سائل في زجاجة حيث يتمدد السائل في بصيلة (Bulb) محاطا بأنبوبة شعرية عليها ترقيم لدرجات الحرارة . أكثر الأنواع استخداما هو نوع الزئبق في الزجاج والمستخدم في مجالات متعددة من عدة درجات تحت الصفر حتى ٣٦٠°م . وعند ملئ الأنبوبة الشعرية بالنيتروجين فان ترمومتر الزئبق يمكنه قياس درجات حرارة حتى ٤٥٠°م وباستخدام نوع خاص من الزجاج يمكن قراءة درجة حرارة حتى ٦٠٠°م . بالنسبة لدرجات الحرارة المنخفضة حتى -٧٠°م يستخدم الترمومتر الزجاجي المملوء بالكحول .

استخدام الترمومتر الزجاجي محدود نظرا لهشاشة الزجاج . الجهاز المستخدم في الأغراض الصناعية ومقاوم للهشاشة وقوي هو ترمومتر العامود (STEM Thermometer) حيث البصلة من الصلب المقاوم ٨/١٨ المحاط بأنبوبة شعرية والعامود من سبيكة النحاس الأصفر . ترمومتر العامود المحمول والمستخدم في

الصناعة من النوع المستقيم حيث يصل طوله إلى ٣-٤ متر كما توجد أنواع ذات ميول ٩٠ ° ، ١٣٥° . مجال القياس لهذه الترمومترات هو مجال متسع حيث يكون ما بين -٤٠ فهرنهيت إلى +١٠٠ فهرنهيت ، من صفر فهرنهيت إلى ١٠٠ فهرنهيت ، من ٢٠٠ فهرنهيت إلى ١٠٠٠ فهرنهيت .

استخدام ترمومترات سائل في زجاج يفيد في العمليات الصناعية الغير مستمرة (Batch) وفي التجارب الصناعية .

(٢) ترمومترات الضغط : (Pressure Thermometers)

ترمومتر الضغط عبارة عن بصيلة تحتوى على عنصر التنشيط والذي يمكن أن يكون سائل أو بخار أو غاز . يتصل بالبصيلة جهاز به أنبوبة شعرية والتي تسمى أنبوبة بوردون (Bourdon Tube) والتي تكون أما مستوية أو في شكل حلزوني أو لولبي. عند تسخين البصيلة فان الضغط الناتج ينتقل بواسطة الأنبوبة الشعرية إلى الأنبوبة الحلزونية ، والتي تنحرف قليلا ، وهذا الانحراف يكون هو قياس لدرجة الحرارة . أحد طرفي الأنبوبة الحلزونية متصل بالأنبوبة الشعرية . الطرف الآخر حر الحركة ومثبت عليه مؤشر للبيان وذراع بقلم تسجيل . عند حدوث الضغط فان الحلزون يتحرر وينفرد .

العنصر المحرك يمكن أن يكون سائل أو بخار . السائل المستخدم عادة هو الزئبق ذلك بسبب معدل التمدد العالي والمنتظم . وهو مناسب للمجال من -٤٠ فهرنهيت حتى ١٠٠٠ فهرنهيت . نظرا لأن ثقب الأنبوبة الشعرية هو ٠,٠٠٧ بوصة (١,٧٧٨ مليمتر) فان النسبة بين حجم البصيلة إلى حجم الأنبوبة تكون مرتفعة وهذا يحد عمليا من أي خطأ بسبب تغيرات درجة الحرارة على طول الوصلة . تملأ كل ا من البصيلة، الأنبوبة الشعرية ، والأنبوبة بالزئبق السائل . الأنبوبة الزنبركية أو اللولبية يجب أن تكون من الصلب وكذلك الوصلة الشعرية والبصيلة . يستخدم أحيانا الكحول كمادة ملئ سائلة حيث يمكنه الخدمة في مجال ما بين -٤٠ فهرنهيت حتى ٣٠٠ فهرنهيت .

الأبخرة المستخدمة كعوامل ، ثاني أكسيد الكبريت أو ميثيل كلوريد (Methyl Chloride) البصيلة تملأ جزئيا بالسائل ، أنبوبة التوصيل تصل إلى قاع البصيلة وتملأ بالسائل وكذلك الأنبوبة الحلزونية أو اللولبية . يتكون البخار في جزء من البصيلة فقط ويقع ما بين -صفر ، ٦٠٠ درجة فهرنهيت . عادة يستخدم غاز النيتروجين لملئ الأنبوبة بالغاز (النيتروجين عالي النقاء) . وفي حالة استخدام الأنبوبة الحلزونية من النحاس فان المجال يتسع ليكون من -٤٠ فهرنهيت حتى ١٠٠٠ فهرنهيت . النسبة بين حجم البصيلة إلى حجم الأنبوبة هو ٤٠ : ١ وذلك لخفض الخطأ في الضغط في أنبوبة التوصيل والحلزونية ، وماسورة توصيل درجة الحرارة .

يعتبر ترمومتر الضغط جهاز بيان قيم حيث انه بسيط نسبيا وسهل تركيبه . وهو يزود بذراع قلم ولوحة بيانية دوارة او شريط بياني متحرك ، حيث يتم التسجيل مع القياس.

(٣) الترمومترات ثنائية المعدن : (Bimetalli Thermometers)

الترمومترات ثنائية المعدن عبارة عن معدن مركب يكون مكون من معدنين لهم معامل تمدد مختلف عن التسخين . بالتحديد المعدن الثنائي هو معدن مركب نصف قطعة من معدن له معامل تمدد مرتفع والنصف الآخر له معامل تمدد منخفض . المعدنين ملتصقتين وملحومين معا خلال كل سطح الالتصاق وذلك باستخدام الضغط المرتفع ودرجة الحرارة المرتفعة وبدون استخدام أي مواد لحام . عند تسخين المعدن الثنائي يحدث انحناء . هذا التغير في الانحناء هو الأساس في عمل الجهاز . وتوجد طرق أخرى لقياس درجات الحرارة .

جـ - التوصيل الكهربي والأملاح الكلية المذابة :

المياه الخالية من الأملاح لا تعمل على توصيل التيار الكهربي . ولكن مع زيادة نسبة الأملاح المذابة في الماء تزداد قدرة المياه على التوصيل الكهربي ، حيث توجد علاقة بين التوصيل الكهربي والأملاح الكلية المذابة . الأجهزة التي تقيس المقاومة الكهربية تفيد كذلك في إعطاء دلالة عن الأملاح المذابة حيث كلما زادت المقاومة زاد نقاء الماء وانخفضت نسبة الأملاح المذابة . تقاس الأملاح الكلية المذابة بالطرق المعملية حيث يؤخذ حجم معين من المياه ثم يتم تبخيره وتجفيفه ثم يوزن

المتبقى من الأملاح وتحسب كجزء في المليون بالنسبة لحجم المياه .

تدخل كمية الأملاح الكلية المذابة في حساب ميل المياه إلى التآكل أو الترسيب طبقا لدرجة الحرارة والضغط . كما تؤخذ في الاعتبار في مواصفات مياه الشرب ومياه التغذية للغلايات ومياه بعض الصناعات ومنها الصناعات الدوائية .

د - العسر الكلي : Total Hardness

تعريف العسر انه كمية الأملاح التي تسبب تفاعلات مع الصابون ولا تحدث رغوة من أملاح العسر أملاح الكالسيوم والماغنسيوم والحديد والمنجنيز . وأهم هذه الأملاح التي تستخدم في قياس العسر هي أملاح الكالسيوم والماغنسيوم . ومن العسر ما هو دائم مثل أملاح الكلوريدات والنترات للكالسيوم والماغنسيوم والتي لا تزال بغليان الماء أما العسر المؤقت فهو أملاح البيكربونات من الكالسيوم والماغنسيوم والتي تتحول بالتسخين إلى راسب من الكربونات يمكن التخلص منه .

ويقدر العسر معمليا باستخدام مادة مغلفة لهذه الأملاح (Chelating Agent) وهي مادة (EDTA) ويستخدم كاشف معين هو (Erochrome Black-T) E. B. T . وهذا الكاشف يتغير لونه أثناء المعايرة من اللون القرمزي عند وجود العسر إلى اللون الأزرق عند انتهاء المعايرة حيث تتم المعايرة في مجال قلوي (رقم هيدروجيني ١٠) . تحسب كمية العسر الكلية مقدرة بالمليجرام من كربونات الكالسيوم في اللتر الواحد .

وهذا التحليل له أهميته الخاصة في جميع مواصفات مياه الشرب وجميع مواصفات المياه المستخدمة في العمليات الصناعية المختلفة ومياه التغذية للغلايات ومياه التبريد . تعني زيادة العسر فرصة تكون رواسب أو قشور جيرية على أسطح التبادل الحراري خاصة أن ذوبان أملاح الكالسيوم يقل بارتفاع درجات الحرارة ولذا يلزم تقدير عسر الكالسيوم بمفردة .

عسر الكالسيوم : ويتم تقديره باستخدام محلول (EDTA) السابق استخدامه في تقدير العسر الكلي ولكن يستخدم معه محلول أيدروكسيد البوتاسيوم (KOH) لترسيب المغنسيوم ، حتى يمكن تقدير الكالسيوم ويستخدم كاشف آخر يسمى (Muexide Indicator) .

ويحسب عسر الكالسيوم مقدرا بالمليجرام من كربونات الكالسيوم في اللتر أو بالجزء في المليون ككربونات كالسيوم ومنه يمكن حساب عسر المغنسيوم بطرح عسر الكالسيوم من العسر الكلي .

ويستخدم هذا التحليل ضمن العوامل التي تستخدم في حساب ميل المياه إلى تكوين قشور (Scales) أو عند تقدير عدوانية المياه للتآكل .

هـ - القلوية الكلية : (Total Alkalinity)

القلوية الكلية هي بسبب وجود أملاح الايدروكسيدات ، الكربونات ، البيكربونات .

وتقدر القلوية بتفاعل حامض الهيدروكلوريك أو حامض الكبريتيك ذو عيارية معينة . يتم التفاعل لهذه الأحماض مع أملاح القلوية على مرحلتين حيث يستخدم في كل مرحلة كاشف معين .

في المرحلة الأولى يستخدم كاشف الفينول فثالين والذي يعطي لون قرمزي في وجود الايدروكسيدات ، الكربونات (CO''_3 , OH') أما المرحلة الثانية فيستخدم فيها كاشف الميثيل البرتقالي (Methyl Orange) والذي يعطي لون أصفر في وجود الثلاث أملاح المسببة للقلوية وهي (CO''_3 , HCO'_3 , OH') أو أي منها أي أملاح الايدروكسيد والكربونات والبيكربونات .

مراحل التفاعل للمعايرة :

المرحلة الأولى وفيها يستخدم الفينول فثالين (P)

$$HCl + OH' \rightarrow H_2O + Cl' \quad (١)$$

$$HCl + CO''_3 \rightarrow HCO'_3 + Cl' \quad (٢)$$

المرحلة الثالثة وفيها يستخدم كاشف الميثيل أورانج (M)

$$HCl + HCO'_3 \rightarrow H_2O + CO_2 + Cl' \quad (٣)$$

وبزا فان الكربونات الموجودة تتفاعل على مرحلتين . يستخدم في المرحلى الأولى كاشف الفينول فثالين (P) وفي المرحلة الثانية كاشف الميثيل البرتقالي (M) .

ويتم التحليل بأخذ حجم معين من المياه ووضع كاشف الفينول فثالين (P) ثم المعايرة بالحامض (له عيارية محددة ٠,١ عياري مثلا) حتى تمام إزالة اللون الوردي عندئذ تكون قد حدثت التفاعلات رقم (١) ، رقم (٢) ثم يوضع الكاشف الثاني (الميثيل البرتقالي) ثم تستكمل المعايرة حتى يتغير اللون إلى البرتقالي وبهذا يكون قد تم التفاعل رقم (٣) ولذلك إذا رمزنا إلى قلوية الفينول فثالين بالرمز (P) وقلوية الميثيل البرتقالي بالرمز (M) .

نجد أن (P) تعبر عن قلوية الايدروكسيد ونصف قلوية الكربونات

و (M) تعبر عن النصف الثاني من الكربونات مع البيكربونات

وهناك خمسة حالات للتعرف على نوع أملاح الصوديوم المسببة للقلوية .

(١) إذا كانت P = صفر تعني انه لا توجد قلوية للايدروكسيد أو الكربونات ، وتكون القلوية نتيجة البيكربونات .

(٢) إذا كانت P = 2M يعني ان القلوية هي بسبب الكربونات فقط حيث

P = 2 $\quad 2HCl + Na_2Co_3 = 2NaHCo_3 + 2NaCl$

M̈ = Ï $\quad HCl + NaHCo_3 = H_2O + Co_2 + NaCl$

(٣) إذا كانت 2P > M يعني ان القلوية بسبب الايدروكسيد والكربونات

(٤) إذا كانت M > 2P يعني ان القلوية نتيجة لأيونات الكربون والبيكربونات والايدروكسيد .

(٥) إذا كانت M = P يعني ان القلوية نتيجة للايدروكسيد فقط .

ومن هنا يمكن معرفة القلوية ومعالجتها كما تستخدم هذه النتائج في حسابات ميول المياه من ناحية الترسيب للقشور (Scules) أو التآكل .

٥ - التحاليل الخاصة :

وهذه التحاليل تتم طبقا لاستخدامات المياه سنذكر منها .

أ - تعيين الكلوريدات في الماء :

ويتم ذلك لتحليل مياه التبريد التي تستخدم في المبردات (Coolers) من المصنوعة من الحديد الغير قابل للصدأ نظرا لتأثير هذا المعدن بأملاح الكلوريدات

(أيون الكلوريد) حيث تسبب التآكل للصلب المقاوم للصدأ . توجد طريقتين لتعيين الكلوريدات في صورة كلوريد الفضة أحدهما باستخدام محلول عياري من نترات الفضة مع استخدام كمية صغيرة من كرومات البوتاسيوم (K_2CrO_4) صفراء اللون ككاشف وذلك عند نهاية ترسيب المحتوى من الكلوريدات بواسطة نترات الفضة العيارية في شكل كلوريد الفضة . الكاشف من كرومات البوتاسيوم يتفاعل مع أيونات نترات الفضة $AgNo_3$ مكونا كرومات الفضة ذات اللون الأحمر الطوبي وبذلك يتغير لون الكاشف الأصفر إلى اللون الأحمر الطوبي عند نهاية التفاعل للكلوريدات وهذه الطريقة تسمى طريقة مهر (Mohr) الطريقة الثانية وهي طريقة (Volhard Method) .
وتستخدم هذه الطريقة لتعيين الكلوريد في الوسط الحامضي حيث توضع كمية زائدة من نترات الفضة معروف عياريتها ثم تعاير العينة بمحلول عياري من ثيوسيانيت النشادر (NH_4SCN) الذي يعطي لون احمر دموي في نهاية التفاعل . ويستخدم هذا التحليل لمعرفة ملوحة المياه وخاصة مياه الري لتقدير عنصر الصوديوم .

ك – الكلور الزائد أو المتبقى (Residual chlorine)

وهذا التحليل خاص بمياه الشرب أساسا أو بمياه الصرف بعد المعالجة البيولوجية وقبل صرفها على المسطحات المائية . نسبة الكلور الحر المتبقى بعد المعالجة لمياه الشرب يجب ألا تزيد عن ٠,١ إلى ١ جزء في المليون . ويقدر الكلور المتبقى باستخدام كاشف الاورثولويدين الذي يعطي لون أصفر مع الكلور وبمقارنة درجة اللون مع ألوان قياسية يتم تقدير قيمة الكلور المتبقى بالجزء في المليون .

ح – تعيين الفوسفات :

يتم تعيين الفوسفات في مياه التغذية للغلايات حيث تستخدم أملاح الفوسفات في معالجة مياه الغلايات ومعالجة مياه بعض دوائر التبريد . ويستخدم في التحليل طريقة اللون (Colorometry) وذلك بتكوين مركب معقد مع مولبدات الأمونيوم (Amonuim Molybdate) والذي يعطي لون اصفر مع الفوسفات ويمكن قياس درجة اللون بجهاز (Spectrophotometer) عند طول موجة ٤٢٠ ثانوميتر .

ويمكن اختزال هذا اللون الأصفر بواسطة كلوريد القصديروز إلى اللون

الأزرق وذلك لتلافي تداخل السيليكا وقياس اللون الأزرق عند تقريبا ٦٥٠ نانوميتر .

د – تعيين الهيدرازين :

يجري هذا التحليل على مياه الغلايات التي يستخدم فيها الهيدرازين (N_2H_4) كصائد للأكسجين الموجود في مياه الغلايات ، حيث وجود الأكسجين يزيد من معدل التآكل .

ويتم تعيين الهيدرازين باستخدام كاشف للون هو بارا – بنزالدهايد الذي يكون لونا اصفر لمركب معقد باتحاده مع الهيدرازين ، على أساس وجود الهيدرازين بنسب صغيرة حيث يتم قياسه على أساس جهاز الكشف الطيفي (Speotrophotometer) وذلك على طول موجة ٤٥٠ نانوميتر .

وهناك بعض الغلايات التي يستخدم فيها الكبريتيد كصائد للأكسجين حيث يتم في هذه الحالة تعيين المتبقى من الكبريتيد بالمعايرة باستخدام اليود ذو عيارية معينة في كمية زائدة ويعاير المتبقى منه أو الزائد بواسطة محلول عياري من ثيوكبريتات الصوديوم حيث يمكن حساب الكبريت الزائد .

هـ – السيليكا : Selica

تعتبر السيليكا من المركبات الخطيرة في غلايات الضغط العالي والتي يستخدم البخار المنتج منها في تشغيل التربينات ، حيث زيادة نسبة السيليكا في البخار عن حدود معينة يعرض ريش التربينات إلى البري (Erosion Corrosion) مما يسبب مشاكل كثيرة . تعين السيليكا باستخدام مولبدات الأمونيوم وتحويلها إلى اللون الأزرق باستخدام حامض الطرطريك ويقاس التركيز على جهاز (Spectrophotometer) عند طول موجة ٦٥٠ نانوميتر .

و – تعيين الأكسجين المذاب :

تعيين الأكسجين المذاب في الماء المستخدم لتغذية الغلايات هو أحد القياسات التي تتم بدقة لتقييم الأكسجين المذاب وذلك نظرا لأن الأكسجين يساعد على حدوث التآكل للمعادن .

يتم تقدير الأكسجين المذاب بإذابة ٢سم^3 من كبريتات المنجنيز ($MnSO_4$) في حجم معلوم من المياه ثم يضاف ٢سم^3 من ايوديد البوتاسيوم (KI) مع التقليب الجيد حيث يتكون راسب من أيدروكسيد المنجنيز والذي يتفاعل مع ايوديت البوتاسيوم حيث ينطلق اليود (لون أصفر) واليود يتم معادلته بمحلول الثيوسلفيت العياري . وفي هذا التفاعل فان الأكسجين الموجود يكافئ اليود المنطلق .

٦ - تقييم استعداد المياه لترسيب المواد المذابة :

يتم الاستعانة ببعض المعادلات والبيانات لدراسة محتوى المياه واستعدادها لترسيب الأملاح . ويستفاد بهذا في مجال مياه الشرب ومياه الغلايات ومياه التبريد ففي مجال المياه المستخدمة والتي تستخدم كذلك في كثير من الصناعات ومنها معظم الصناعات الغذائية ، حيث يلزم أن تكون المياه ذات استعداد لترسيب الأملاح المذابة وذلك لحماية شبكة المواسير من التآكل . وعلى العكس بالنسبة لمياه الغلايات ومياه التبريد حيث تتطلب نوعية من المياه التي لا تميل إلى ترسيب المواد المذابة عند درجات الحرارة المختلفة .

وسوف يتم تناول ثلاث طرق لاختبار المياه وهي طريقة لانجليير للتشبع واختبار الرخام وطريقة مخطط الثبات لريزنر (Ryszner Stability Index) .

أ – مخطط لانجليير للتشبع : (Langelier Saturation Index) وهذا المخطط مفيد أساسا لدراسة حالة المياه في شبكات التوزيع . بنى مخطط لانجليير للتشبع (LSI) على أساس اثر الرقم الهيدروجين على إذابة كربونات الكالسيوم ($CaCO_3$) .

حيث أن الرقم الهيدروجيني الذي عنده يحدث تشبع للمياه بكربونات الكالسيوم يعرف بالرقم الهيدروجيني للتشبع (PHs) (PH of Saturation) . عند درجة الرقم الهيدروجيني للتشبع (PHs) فان الترسيبات من طبقة الحماية لا ترسب ولا تذوب ويمكن دراسة مخطط لانجليير للتشبع (LSI) من خلال المعادلة التالية :

قاعدة لانجليير للتشبع هي :

$$LSI = PH - PHs$$

حيث تم تفسير نتائج المعادلة كالآتي :

- في حالة LSI أكبر من صفر فان المياه تكون مشبعة (Supersaturated) وتميل إلى ترسيب قشور أو طبقة من كربونات الكالسيوم .
- في حالة LSI = صفر فان المياه المشبعة تكون في حالة اتزان (Equilibruim) مع كربونات الكالسيوم . حيث كربونات الكالسيوم الموجودة في الماء لا ترسب ، وكذلك المياه غير مستعدة لاذابة كربونات الكالسيوم إضافية .
- في حالة LSI اصغر من صفر . في هذه الحالة تكون المياه غير مشبعة وهذه المياه تميل إلى إذابة كربونات الكالسيوم المترسبة الصلبة .

لحساب قاعدة لانجيلر (LSI) يلزم الحصول على البيانات التالية :

(١) القلوية الكلية مج/لتر مقيمة كربونات كالسيوم .
(٢) العسر (كالسيوم) مج/لتر مقيمة كربونات الكالسيوم .
(٣) الأملاح الكلية المذابة مج/لتر .
(٤) الرقم الهيدرجيني .
(٥) درجة الحرارة .

- يمكن حساب الرقم الهيدروجيني للتشبع PH_S من المعادلة الآتية :

$$PHS = A + B - \log(Ca^{++}) - \log \text{alkalimty}$$

PHS = A + B لو تركيز أيون الكالسيوم – لو القلوية

حيث كلا من A , B ثوابت

A ثابت بناءا على درجة الحرارة جدول (١)

B ثابت بناءا على الأملاح الكلية المذابة جدول (٢)

ثابت A (جدول -١)

بدلالة درجة الحرارة م°

درجة الحرارة م°	ثابت A
صفر	٢,٦
٤	٢,٥
٨	٢,٤
١٢	٢,٣
١٦	٢.٢
٢٠	٢,١
٢٥	٢,٠
٣٠	١,٩
٤٠	١,٧
٥٠	١,٥٥
٦٠	١,٤٠
٧٠	١,٢٥
٨٠	١,١١

ثابت B (جدول -٢)

بدلالة الأملاح المذابة

الأملاح الكلية المذابة مج/لتر	ثابت B
صفر	٩,٧
١٠٠	٩,٧٧
٢٠٠	٩,٨٣
٤٠٠	٩,٨٦
٨٠٠	٩,٨٩
١٠٠٠	٩.٩

ولوغاريتم تركيز الكالسيوم (لو (Ca^{++})) & لوغاريتم تركيز القلوية Lagalkalinity .

يتم تقديرهم من الجدول التالي (جدول-٣)

(جدول-٣) لوغاريتم تركيز الكالسيوم ولوغاريتم تركيز القلوية (جدول-٣)

Ca++ or alkalinity Mg/LcaCo3 تركيز أيون الكالسيوم أو القلوية مح/لتر كربونات الكالسيوم	Lag لوغاريتم
١٠	١,٠
٢٠	١,٣
٣٠	١,٤٨
٥٠	١,٧٠
٦٠	١,٧٨
٧٠	١,٨٤
٨٠	١,٩
١٠٠	٢,٠
٢٠٠	٢,٣
٣٠٠	٢,٤٨
٤٠٠	٢,٦٠
٥٠٠	٢,٧
٦٠٠	٢,٧٨
٧٠٠	٢,٨٤
٨٠٠	٢,٩
٩٠٠	٢,٩٥
١٠٠٠	٣,٠٠

وهذا الأسلوب يتطلب منتهى الدقة لقياس الرقم الهيدروجيني (PH Value) ودرجة الحرارة . حيث يلزم أن يتم ذلك في الموقع . وذلك لأن المياه التي قد تحدث ترسيب لطبقة حماية في شبكة التوزيع عند درجة حرارة ٢٥° م في شبكة التوزيع قد تسبب ترسيبات عالية في أنظمة التسخين .

(Excessive Scaling In Hot Water Aystems) .

وهناك حدود لتطبيق قاعدة لانجيز LSI وهي

- العمل في مجال رقم هيدروجيني ما بين ٦,٥ إلى ٩,٥
- تعتبر مؤشر لاستعداد المياه لإحداث تآكل في الشبكة وليست لقياس التآكل . وذلك في حالة عدم استعداد المياه لعمل ترسيبات .

ب - وهناك طريقة أخرى لتقييم الرقم الهيدروجيني للتشبع PHs وهي طريقة تسمى اختبار الرخام (Marble Test) حيث تؤخذ عينة مزدوجة من المياه Duplicate Sample وتجمع . ثم تضاف كربونات الكالسيوم بتركيز حوالي ١ مج/لتر . وتضاف إلى أحد العينات مع الرج الجيد . وبعد فترة من الوقت (ساعة عادة أو اكثر من ساعة) يتم ترشيح كلا العينتين وتحليل المياه المرشحة بالنسبة للقلوية أو الرقم الهيدروجيني . حيث إذا زادت القلوية أو الرقم الهيدروجيني لعينة المياه التي لم يضاف لها كربونات الكالسيوم عن تلك المضاف لها كربونات الكالسيوم فان المياه تكون مشبعة (Supersaturated) بكربونات الكالسيوم وقد تسبب تكوين ترسيبات أو قشور . وإذا كانت القلوية أو الرقم الهيدروجيني للمياه الغير معالجة أو التي لم يضاف إليها كربونات الكالسيوم اقل من تلك المضاف إليها كربونات الكالسيوم . فان المياه تكون غير مشبعة بكربونات الكالسيوم . وإذا كانت القلوية أو PHs لكلا العينيتين متساوي ، فان المياه تكون في درجة التشبع بكربونات الكالسيوم .

عند رقم هيدروجيني ٧ & الأملاح الكلية المذابة ٦٠٠ جزء في المليون ، القلوية مقيمة ككربونات كالسيوم هي ٢٠٠ مج/لتر والعسر مقيم ككربونات كالسيوم هو ٢٥٠ مج/لتر .

مثال :

حدد استعداد المياه لتكوين ترسيبات أو عدوانيتها في درجات الحرارة التالية ٢٥° م & عند درجة حرارة ٨٠° م .

الحل

عند درجة حرارة ٢٥° م

$$LSI = PH - PHs = 7.5 - PHs$$
$$PHs = A + B.- Log\ (Ca^{++}) - Log\ Alkalinty$$
$$= 2 + 9.88 - 2.3 - 2.39$$
$$= 7.15$$
$$\therefore LSI = PH - PHs = 7.0 - 7.15 = -0.15$$

∴ هذه المياه عدوانية قد تحدث تآكل ولكن ترسب قشور

<u>عند درجة حرارة ٨٠° م</u>

$$PH5 = 1.15 + 9.88 - 2.3 - 2.39$$
$$= 6.35$$

$$\therefore LSI = 7 - 6.35 = 0.65$$

هذه المياه سوف ترسب قشور وبالتالي تحقق حماية للشبكة ولكنها في نفس الوقت تحد من الانتقال الحرارى وتكون القشور .

جـ - قاعدة ريزنر :

Rynzar Stability Index RSI

في هذه المعادلة قام ريزنر باستخدام نفس البيانات المستخدمة في قاعدة لانجيليز (LSI)، ولكنه قلب العلامات وضاعف الرقم الهيدروجيني للتشبع كالآتي :

$$RSI = 2PHs - PH$$

وقام رينزر كذلك بعمل مخطط بني على الملاحظات الشخصية مبينا الترسيب والتآكل للصلب بدلالة القاعدة RSI .

ويستخدم قاعدة رينز على نطاق واسع في مياه الغلايات

وعند تطبيق قاعدة رينزر

- حيث إذا وجد أن معامل التشبع RSI ≥ ٧ أو اكثر دل هذا على حدوث تآكل في المبادلات الحرارية .
- وإذا وجد أن معامل التشبع RSI ≤ ٦ أو اقل دل هذا على حدوث ترسيب بالمبادلات الحرارية . مما يقلل من عملية التبادل الحراري وكذا يقلل من تدفق المياه .
- وجد أن أفضل قيمة تستخدم في التشغيل هي أن يكون معامل التشبع RSI في حدود ٦,٥ – ٧ .

مثال :

بتطبيق قاعدة رينزر في المثال السابق حيث درجة الحرارة ٨٠° م

حيث PHs = 6.35

∴ RSI = 2PHs – PH
= 12.7 – 7 = 5.7

∴ يحدث ترسيب في المبادلات الحرارية

وعند حرارة ٢٥° م RSI = 14.3 – 7
= 7.3

∴ لا يحدث ترسيب في المبادلات الحرارية

ولذلك في حالة ميل مياه التبريد لعمل ترسيبات فانه يلزم رفع الرقم الهيدروجيني بإضافة حامض . حيث بذلك يقل معامل رينزر RSI ويصبح أقل من ٦ لمنع الترسيبات في مياه التبريد .

٧ - مشاكل نوعية المياه عند توليد البخار :

في بعض الحالات يتطلب نقاء المياه المستخدمة لأغراض إنتاج البخار درجة نقاء حوالي ٩٩.٩٩% وبما لا يزيد عن ١٠ جزء في المليون . وقد يتراوح ضغط البخار في الغلاية ما بين ٢٠ – ٤٠ جوي وقد يصل إلى ما بين ٦٠ – ٩٠ جوي ومع ارتفاع الضغط ودرجة الحرارة فان الأملاح التي تتعدى حدود الإذابة ترسب مكونة قشور (Scales) . حيث طبقة صغيرة من ترسيبات السيليكا كافية لإحداث تسخين زائد (Overheating) لعدة مئات من درجات الحرارة بما يسبب تلف للغلاية .

- ارتفاع درجات الحرارة ينشط التآكل .

المراجع

1 – Series Of Idea Exchange – DOW
Chemical Company (Jan 1972 – Oct 1972)

2 – Freedman, A. J. And Shannon, J. E. Modern Alkaline Cooling Water Treatment, Industrial Water Engineering – 1973

3 – Distillation Plant Data Book, Houston Research Inc. For Office Of Saline Water, V. S. Dept. Of The Interior, Contact NO . 14-01-0001-2099(1971)

4 – Industrial Engineering Chemistry Products Research and Dererlopment 4, 207 (1965)

5 – Hand book of Water Resources And Pollution Control – Van No strand Reinhold Company 450 West 33rd Street New York, N. Y. 10001

6 – Chemical And Process Technology Encyctopedia Mc Graw – Hill Book Company New – York

فهرس

تقوم المياه بخدمة مختلف الصناعات بطرق متعددة:

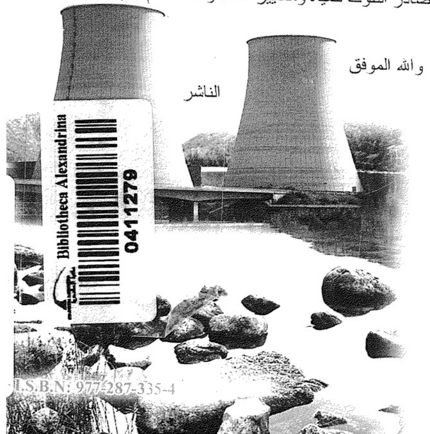
حيث تستخدم المياه كمواد خام تدخل في تصنيع المنتج النهائي بــدون أي تغيرات كيماوية كمادة خام لإحداث تغيرات كيماوية

- كمجال للنقل حيث تعمل المياه كمذيب او كحامل للمحاليل أو المواد العالقة داخل وخارج التفاعلات و عمليات التغير الطبيعي
- كمجال للتسخين والتبريد خلال مجال كبير لدرجات الحــرارة ما بــين اقــل من درجة حــرارة التجمد العادية (المحــاليل الملحــية) إلى درجة حــرارة البــخار المحــمص (Superheated Steam)
- كمجال لحفظ الطاقة
- كمجال لتجميع المخلفات
- كمجال للنظافة
- حاجز حراري ضد الإشعاعات والانبعاثات الحرارية معيار مناســب بالنسبــة لدرجة الحرارة والكثافة واللزوجة والوحدات الأخرى الهامة بالنسبة للمعايرة والقياس لأجهزة التحكم كمجال لمقاومة الحريق .

ففى هذا الكتاب تم تناول تقنيات معالجة المياه للاستخدامات الصناعية واستعراض أنواع المياه من المصادر المختلفة ومصادر التلوث للمياه ومعايير النقاء والاستخدام للمياه في الصناعة .

والله الموفق

الناشر



I.S.B.N: 977-287-335-4

دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع

٥٠ شارع الشيخ ريحان - عابدين - القاهرة

☎ ٧٩٥٤٢٢٩

WWW sbheg.com

e-mail: sbh@link.net